

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

AUTOMATICKÝ HYDROPONICKÝ SYSTÉM

AUTOMATED HYDROPONIC SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Borsuk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Číka, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Student: Adam Borsuk

ID: 173616

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Automatický hydroponický systém

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte požadavky hydroponického pěstování rostlin a na základě nich navrhnete a vytvořte automatický systém zajišťující hydroponické pěstování. Systém osadíte potřebnými senzory pro měření teploty, vlhkosti, hladiny vody, PH vody a komunikačním Wi-Fi rozhraním, rozráním pro řízení ventilátorů, vodních čerpadel, vyhřívání a osvětlení.

Vytvořte software pro řízení a kontrolu stavu vytvořeného hydroponického systému. Software bude vedle základních funkcí poskytovat uživateli informace o aktuálním stavu hydroponického systému a dlouhodobé statistiky získané z měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Alijev, E.A. Pestovanie zeleniny v hydroponických skleníkoch. Příroda, vydavateľstvo kníh a časopisov. Bratislava: 1987. s. 184 . 064-022-88-PZV

[2] VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-871-6-93-8.

[3] LECKY-THOMPSON, Ed a Steven D. NOWICKI. PHP 6: programujeme profesionálně. Brno: Computer Press, 2010. Programujeme profesionálně. ISBN 978-80-251-3127-5.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 29.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Číka, Ph.D.

Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce je preštudovať problematiku návrhu a tvorby automatického hydroponického systému pre pestovanie rastlín a riešiť tvorbu súčastí systému podľa základných podmienok pre rast rastlín a následne ich testovanie a overenie ich vlastností, pri tom vyhodnotiť ich funkčnosť. Druhým cieľom je vytvoriť komunikačné rozhranie pre odosielanie a ukladanie údajov zo systému a zároveň vytvoriť prehľadné zobrazovanie uložených a aktuálnych dát. Tretím cieľom je overiť funkčnosť a stabilitu vybraného mikrokontroléra ako riadiacej jednotky.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

hydropónia, automatický systém, návrh, tvorba, realizácia, pestovateľský box, meranie, vyhodnotenie, zobrazovanie, dáta, overenie, stabilita, funkčnosť

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to study the design and creation of an automatic hydroponic system for plant cultivation and to solve the creation of components of the system according to the basic conditions for plant growth and subsequently to test and verify their properties, to evaluate their functionality. The second goal is to create a communication interface for sending and storing data from the system while creating a transparent display of stored and up-to-date data. The third objective is to verify the functionality and stability of the selected microcontroller as a control unit.

KEYWORDS

hydroponics, automatic system, design, creation, realization, cultivation box, measurement, evaluation, display, data, verification, stability, functionality

BORSUK, Adam. *Automatický hydroponický systém*. Brno, 2018, 88 s. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedúci práce: doc. Ing. Petr Číka, PhD.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Automatický hydroponický systém“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej bakalárskej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. Petrovi Číkovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci. Rád by som poďakoval Ondrejovi Kožíkovi z Mendelovej univerzity Brno a kolektívu z Growway Garden Brno za cenné rady v oblasti hydroponického pestovania. Vďaka patrí i firme Eltime in, za poskytnutý elektroinštalačný materiál a cenné rady. Veľká vďaka patrí mojim rodičom za extrémnu trpezlivosť a pomoc pri návrhu a tvorbe systému. Otcovi najmä za výrobu sústružených mechanických častí a mame za stolársku úpravu boxu.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	12
1 Hydroponické pestovanie	13
1.1 Hydropónia	13
1.1.1 Pôda vs hydropónia	14
1.1.2 Základné typy systémov	16
1.1.3 Výber typu	17
1.2 Rastové faktory	18
1.2.1 Fotosyntéza a osvetlenie	18
1.2.2 Kyslosť (pH)	20
1.2.3 EC a hnojivo	22
1.2.4 Teplota a vlhkosť	23
1.2.5 Ventilácia	24
1.2.6 Zavlažovanie	24
2 Návrh automatického hydropóného systému	25
2.1 Analýza výberu riadiacej jednotky	25
2.1.1 Arduino vs. Raspberry Pi	25
2.1.2 Riadiaca jednotka – Arduino	27
2.2 Pestovateľský box	35
2.3 Meranie teploty a vlhkosti	36
2.4 Meranie EC a pH	38
2.5 Umelé osvetlenie	39
2.6 Kultivácia	40
2.7 Periféria	41
3 Realizácia systému	45
3.1 Rezervoáre	45
3.2 Osvetlenie	48
3.3 EC sonda	52
3.4 Ventilácia a chladenie	55
3.5 Pestovateľská nádoba a súčasti	57
3.6 Schéma zapojenia	59
3.6.1 Napájacia časť	59
3.6.2 Ovládacia časť	61
3.7 Programová časť	62
3.7.1 Odosielanie dát	65

3.7.2	Zobrazovanie dát	67
3.8	Test a hodnotenie	68
3.8.1	Kalibrácia pH	68
3.8.2	Kalibrácia EC	70
3.8.3	Ohrev	70
3.8.4	Vzduch a chladenie	70
3.8.5	Meranie objemu	71
3.8.6	Rezervoáre	71
3.8.7	Osvetlenie	71
3.8.8	Živný roztok	72
4	Záver	73
	Literatúra	74
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	78
	Zoznam príloh	80
A	Tabuľky	81
A.1	Výkonová tabuľka	81
A.2	Rastová tabuľka	81
B	Kalibračný program EC sondy	82
C	Foto dokumentácia	84
D	Obsah priloženého CD	88

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Spektrum – človek a rastlina [7]	19
1.2	Závislosť vstrebávania živín na hodnote pH (čilipaprika)	21
2.1	Porovnanie originálneho Arduina (hore) s klonom (dole)	28
2.2	Rozloženie pinov a ich funkcie [20]	29
2.3	Ukážka topológie zbernice I ² C	31
2.4	Topológia zbernice ISP	32
2.5	Lineárna topológia zbernice One Wire	34
2.6	Navrhnutý pestovateľský box	35
2.7	Modul DHT22	36
2.8	Štruktúra adresy	36
2.9	Blokové schéma DS18B20 [25]	37
2.10	pH sonda	38
2.11	Bloková schéma pestovateľského boxu	40
2.12	Ethernet shield W5100	41
2.13	Mosfet modul IRF520 a jeho schéma	42
2.14	8-kanálový relé modul s optickým oddelením	42
2.15	Krokový motor s driverom a schéma	43
2.16	Driver krokového motora a schéma [32]	43
2.17	Modul RTC DS1307	44
2.18	Modul pH	44
3.1	Modul HC-SR05	46
3.2	Časový diagram signálov	46
3.3	Peristaltická pumpa RS385	47
3.4	Pohľad na konštrukciu rezervoárov (vpravo), detail merača hladiny a pumpy (vľavo)	48
3.5	LED panely v základných 4 farbách RGB a W	49
3.6	Zapojenie WS2812B [33]	50
3.7	Navíjacia časť (vľavo), osvetľovací kruh pohľad zo spodu (hore) a z vrchu (dole)	51
3.8	Schéma princípu merania EC	52
3.9	Nasávanie a vysávanie vzduchu (vpravo), vnútorný obeh (vľavo)	55
3.10	Otvorený prietokový chladič (vľavo), schéma chladiča (vpravo)	56
3.11	Prierez pestovateľskou nádobou	57
3.12	Konštrukcia dosky	58
3.13	Schéma zapojenia ATX1	59
3.14	Schéma zapojenia ATX2	60
3.15	Schéma zapojenia ATX3	60

3.16	Schéma zapojenia ovládacej časti	61
3.17	Zjednodušený vývojový diagram	64
3.18	Vizualizácia dát	65
3.19	Kanály	65
3.20	WAPI a RAPI KEYS	66
3.21	Menu aplikácia (vľavo), náhľad na prvú záložku (vpravo)	67
3.22	Závislosť pH na napätí po kalibrácii	69
A.1	Výkonová tabuľka.	81
A.2	Rastová tabuľka.	81
C.1	Vrchná vnútorná časť boxu (hore), systém rezervoárov a dávkovania (dole).	84
C.2	Plavák s pH sondou (hore), zavlažovací kruh (dole).	85
C.3	Kameninové lôžko (dole), celkový pohľad na pestovateľskú nádobu (hore).	86
C.4	Pohľad na prípravu riadiacej skrine (arduino, IRF520, relé modul, pH modul)	87

ZOZNAM TABULIEK

2.1	Porovnanie parametrov	26
2.2	Piny sériových portov Mega2560	30
2.3	Piny zbernice SPI pre rôzne Megu a Due	33
3.1	Parametre diód osadených na led paneloch	48
3.2	Parametre WS2812B	50
3.3	Parametre nasávacieho a vysávacieho ventilátoru	56

ZOZNAM VÝPISOV

B.1	Kód programu pre základnú kalibráciu EC sondy časť 1.	82
B.2	Kód programu pre základnú kalibráciu EC sondy časť 2.	83

ÚVOD

Hydroponické pestovanie sprevádza ľudstvo už obdobia starých Egypťanov. Systém pestovania rastlín na báze vody s rozpustenými živinami sa vyvíjal a vyvíja dodnes. Dnes v informačnej dobe rastú nároky i pri tomto druhu pestovania. Pestovatelia chcú mať čoraz väčšiu kontrolu a prehľad o stave prostredia, kde sa rastlina vyvíja a zároveň je ich snahou čím viac procesov automatizovať.

To prináša požiadavky na spôsob kontroly všetkých klimatických a kultivačných podmienok, ich meranie, vyhodnocovanie a informovanie pestovateľa. Cieľom tejto práce je riešiť spôsob kontroly, merania, úpravy a zobrazovania všetkých základných aspektov automatického hydroponického systému a následne jeho realizáciu. Medzi základné aspekty patrí teplota, vlhkosť a výmena vzduchu, správne množstvo a dodávka živín, osvetlenie.

Pre tieto účely má byť systém osadení potrebnými senzormi pre meranie teploty, vlhkosti, kyslosti vody (živného roztoku), obsahu živín v živnom roztoku, potrebné je dodať tiež rozhrania pre riadenie ventilácie, dávkovanie a dodávku živného roztoku, ohrev a osvetlenie. Taktiež musí byť vybavený komunikačným rozhraním pre možnosť informovať užívateľa. Pre riadenie je potreba dodať riadiacu jednotku, ktorá spracuje všetky potrebné hodnoty a bude vykonávať pomocou rozhraní (periférií) potrebné zmeny.

Práca je rozdelená do troch hlavných logických celkov, kapitol. V prvej kapitole sa pojednáva o tom čo je vlastne hydroponické pestovanie, aké princípy využíva a aké požiadavky sú kladené na správny vývoj rastliny. Druhá kapitola rieši návrh systému, správny výber riadiacej jednotky a rozoberá postupne jednotlivé prvky systému. Tretia kapitola obsahuje realizáciu a testovanie jednotlivých navrhnutých prvkov a ich hodnotenie ako sa osvedčili v praxi.

1 HYDROPONICKÉ PESTOVANIE

Prvá kapitola sa venuje hydroponii z pohľadu historického vývoja, výhodami a nevýhodami v porovnaní s pestovaním v pôde, typy druhov ale i základným veličinám a zároveň požiadavkám, ktoré je potrebné pri pestovaní rastlín splniť.

1.1 Hydropónia

Hydropónia je pestovanie rastlín bez použitia pôdy nahradenou inertným prostredím vyživované primárne živným roztokom. Ide o dômyselne logický ale pritom jednoduchý systém pestovania rastlín.

Hydroponické pestovanie nepatrí medzi nápady dneška, zistilo sa že vodné pestovanie využívali starí Egypťania i Aztékovia. V roku 1600 nášho letopočtu Jan Baptist van Helmont skúmaním a experimentami dokázal príjem živín rozpustených vo vode cez korene. Roku 1860 páni Knops a Sachs predviedli pestovanie v inertnom médiu zavlažované vodou bohatou na živiny. V roku 1929 došlo k silnej propagácii pestovania v živných roztokoch. V roku 1937 bol prvý krát použitý moderný názov „Hydropónia“ [1]. Hlavnými priekopníkmi resp. domácimi krajinami hydroponie sú Dánsko, Holandsko a Rusko. Rusko počas budovania socializmu vytvorilo obrovské plantáže na báze hydroponie pre nasýtenie narastajúcej populácie v Moskve. Ktoré im umožňovalo zvýšiť výnosy na rovnakej pestovacej ploche oproti zemine o viac ako 40 %.

Absenciou zeminy sa eliminujú faktory nahrávajúce vzniku húb a plesní. Rastliny pri správnom nastavení systému rastú omnoho rýchlejšie. Náhradou za zeminu ako opora pre korene slúži pestovací substrát. Materiál ale musí byť inertný, čo znamená, že neuvolňuje látky do prostredia a má vhodnú štruktúru - najčastejšie štrk, kamenivo s menšou frakciou, keramzit alebo dnes novinkou minerálne vlny s prímesami. Výberom správneho substrátu sa zabezpečí prísun živín a kyslíku ku koreňom, substrát sám osebe neobsahuje živiny, tie sa dodávajú pomocou živného roztoku.

Živný roztok je zmes potrebných chemických prvkov a ich zlúčenín rozpustených vo vode, pre rast a správny vývin rastliny. Tieto prvky sa delia na dve hlavné skupiny [2]:

Makro prvky – potrebné pre rast, vývin a kvet:

dusík (N), fosfor (P), draslík (K), vápnik (Ca), horčík (Mg) a síra (S)

Mikro prvky – slúžia ako katalyzátory a zodpovedajú za zdravý vývin:

železo (Fe), chlór (Cl), mangán (Mn), bór (B), zinok (Zn), meď (Cu)

1.1.1 Pôda vs hydropónia

Pôda

Pôda je oproti hydropónii menej náročná na dodržiavanie stálych hodnôt roztoku a dokáže tieto hodnoty (teplota, kyslosť, koncentrácia živín) do určitej miery samostatne regulovať. Preto je pôda vhodná skôr pre začiatočníkov, pretože vzniká priestor na toleranciu chýb spôsobených pestovateľom. V pôde žijú a rozmnožujú sa organizmy a mikroorganizmy, ktoré rozkladajú organické látky na prvky ľahko vstrebateľné a naproti tomu im rastlina poskytuje odpadné látky pre ich život a recykláciu týchto látok. Nevýhodou pôdy je poskytovanie vhodného prostredia pre množenie nežiadúceho hmyzu a výskyt škodcov, plesní a húb proti ktorým je nutné bojovať.

Výhody:

- + komplexnejšie množstvo živín, minerálnych látok a stopových prvkov
- + prospešné baktérie
- + nižšie prvotné náklady
- + neprichádza k rýchlym chemickým zmenám

Nevýhody:

- znížená kontrola škodcov
- časom znížený prístup kyslíka ku koreňom
- pomalší rast – dlhšie vegetačné obdobie

Hydropónia

Hydroponické systémy sú náročnejšie na udržiavanie hodnôt živného roztoku. Na-
koľko absentuje klasická pôda a chemické zmeny nastávajú takmer okamžite, pri
zlých hodnotách roztoku môže prísť k likvidácii celej úrody do jedného dňa. Dnešné
typy systémov sa síce odlišujú svojím prevedením, ale zdieľajú jeden princíp a všetky
výhody a nevýhody. V hydropónii sa dosahuje omnoho rýchlejši rast priamym vstre-
bávaním živín koreňovým systémom rastliny a tým sa znižuje dĺžka vegetačného
obdobia, čo priaznivo znižuje riziko vzniku plesní, húb a nie je vytvorené prostredie
pre škodcov. I v týchto systémoch sa časom môžu vyskytovať prospešné organizmy.

Výhody:

- + možnosť automatizácie
- + rýchlejší rast a väčšia odolnosť rastliny
- + minimum škodcov
- + menšia náročnosť na priestor

Nevýhody:

- zložitosť a náročnosť na údržbu a prevádzku
- pravidelné kontroly hodnôt
- finančne náročné prvotné náklady
- závislosť a z časti zvýšená spotreba el. energie
- riziko rýchlych chemických zmien

1.1.2 Základné typy systémov

Vývinom systémov bolo do praxe uvedených niekoľko základných typov, ktoré síce využívajú spoločný základ živný roztok, ale líšia sa spôsobom celkového prevedenia a hlavne spôsobom dopravy živného roztoku ku rastline. Na základe toho vznikli základné typy [3]:

Aero

Nie je potrebné pestovateľské médium, keďže korene visia voľne do priestoru nádrže a živiny sú dodávané v podobe hmly. Tým je zabezpečený priamy vstup živín do koreňov. Rastlina veľmi rýchlo a lepšie absorbuje potrebné živiny, čo zaručuje veľmi rýchly rast a silný kvet. V tomto systéme je nutnosť kontrolovať hlavne pH roztoku.

Drip

Patrí medzi najčastejšie typy. Výhodou je, že tento systém spočíva v možnosti plnej automatizácie. Kapilármi sa privádza roztok priamo k rastline. V tomto systéme je jeden roztok používaný niekoľko krát po sebe, takže treba vykonávať pravidelnú kontrolu roztoku a jeho úpravu. Kyslosť a koncentrácia živín s odpadnými látkami môže kolísať do takej miery, že jediným riešením je výmena celého roztoku.

Ebb and Flow

Systém funguje na princípe záplavy a sucha. Za pomoci čerpadla sa rýchlo načerpá pripravený roztok do nádoby, určitú dobu sa tam ponechá a následne sa rýchlo odčerpá a po určitý čas sa rastlina ponechá v suchu. Toto sa deje v pravidelných intervaloch. Výhodou je pravidelné prečistenie koreňov a tým pádom odstránenie nežiadúcich látok od koreňov. Z časti sa podobá na Drip systém a preto je tiež nutné dávať pozor na opakovane použitý roztok.

N.F.T.

Technika živinového filmu, je postavená na princípe prečerpávania roztoku do pestovacej nádoby, na dne je položený molitanový film a nádrž má mierny sklon k odtoku prebytočnej tekutiny. Korene rastlín potom rastú na živnom filme a pokrývajú celú plochu, čím sa vytvorí široká plocha pre príjem živín. Systém je tiež schopný plnej automatizácie.

Bubbler

Systém na princípe značného okysličenia vody. Vzduchové čerpadlo privádza vzduch do akvaristických kameňov, ktoré zásobujú kyslíkom vodný kúpeľ, v ktorej sú korene úplne ponorené. Veľmi dôležitá je stálosť kyslosti roztoku ale aj obsah živín. Pri tomto spôsobe pestovania je potrebné obsah nádrže vždy úplne vymeniť, ak rastlina prechádza do ďalšej fázy alebo nastane finálna fáza plodu.

1.1.3 Výber typu

Pre túto prácu bol zvolený systém typu Drip. Dôvod výberu tohto typu je, že vďaka jeho konštrukcii a princípu je jeho podstatná časť funkcií do veľkej miery automatizovateľná. Tento typ pestovania je vhodný i pre začiatočníkov a implementuje v sebe takmer všetky záležitosti, ktoré treba riešiť i u ostatných typov. Pri automatizácii takéhoto komplexného zariadenia je potreba dozorovať veľa parametrov a ich hodnoty meniace sa v čase a adekvátne reagovať. V nasledujúcich kapitolách sú uvedené všetky potrebné časti resp. parametre, ktoré rastlina pre svoj rast i samotný pestovateľský box pre svoju správnu funkciu vyžadujú.

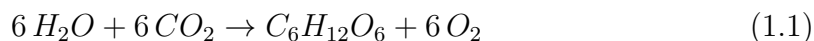
1.2 Rastové faktory

Každá rastlina, tak ako i ostatné živé organizmy na našej planéte, vyžaduje pre svoj rast svoje špecifické hodnoty svojich podmienok resp. fyzikálnych a chemických vlastností prostredia v ktorom sa vyvíja. Keďže rastlina sa nachádza mimo ekosystému prírody, vyvíja sa v tzv. abiotickom prostredí [4], ktoré zahŕňa určité faktory, a to sú:

- **svetelné žiarenie** – fotosyntéza a umelé osvetlenie
- **atmosféra** – teplota, vlhkosť, výmena vzduchu
- **hydrológia** – zavlažovanie, cirkulácia a príprava roztoku
- **pôdne faktory** – hnojenie a v prípade nutnosti ničenie škodcov

1.2.1 Fotosyntéza a osvetlenie

Fotosyntéza (z gréc. Fós = svetlo, synthesis = viazanie) je biochemický proces zachytávania energie slnečného žiarenia a jej využitie na fixáciu oxidu uhličitého v zelených rastlinách za vzniku sacharidov. Pri fotosyntéze sa v bunkách rastlín, rias a niektorých prokaryotov mení energia svetelného žiarenia na energiu chemickej väzby za vzniku organických látok z anorganických. Chemicky bola zovšeobecnená do rovnice [5]:



Na fotosyntézu taktiež vplyvajú určité činitele ako:

- **svetlo** – prírodné, umelé, spektrum, intenzita, fotoperiódna
- **teplota** – nad a pod určité teploty neprebíha alebo len veľmi málo
- **oxid uhličitý a voda**

V rastlinách prebiehajú procesy fotosyntézy v dvoch fázach:

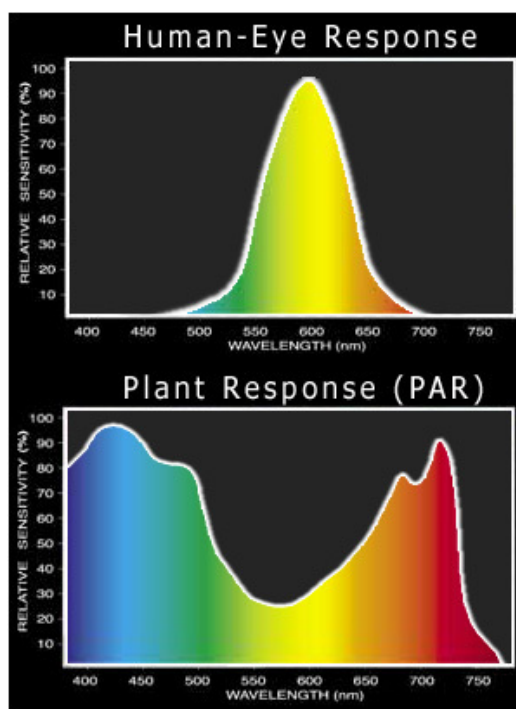
Svetelná fáza – prebiehajú v nej primárne fotosyntetické procesy spojené s príjmom (absorpciou) a premenou svetelnej energie na energiu chemickej väzby.

Tmavá fáza – prebiehajú v nej sekundárne fotosyntetické procesy spojené s fixáciou uhlíka a premenou oxidu uhličitého na organické sacharidy.

A preto rastliny potrebujú fázu noci, aby dochádzalo k tvorbe sacharidov, potrebných ako zásobáreň energie.

Spektrum svetla

Rastliny k vývoju potrebujú nielen dostatok svetla ale i korektné spektrum. Oproti človeku rastliny sú viac citlivé na iné časti spektra. Oko vníma svetlo v rozsahu približne od 400 nm do 750 nm a najcitlivejšie je v rozsahu od 580 po 630 nm teda v zelenej časti. Rastliny naopak ako vidno i v obrázku 1.1 sú citlivé na iné rozsahy označované ako PAR – Photosynthetically Active Radiation [6], fotosyntetické aktívne žiarenia.



Obr. 1.1: Spektrum – človek a rastlina [7]

Rastlina obsahuje niekoľko typov asimilačných farbív ale najhlavnejšie sú dva typy a to chlorofyl A a B [8], pri fotosyntéze teda nezáleží len na intenzite svetla ale i jeho farbe. Každý list absorbuje približne len 2 až 3 % z dopadnutého žiarenia, zvyšok sa prepustí alebo odrazí. Vďaka dvom typom chlorofylu sú teda rastliny citlivé najviac na dva rozsahy a to od 430 po 460 nm (modrý rozsah) a od 640 po 700 nm (červený rozsah). Staré tvrdenia hovoriace o tom, že rastlina nevníma, odráža a nespracováva zelené svetlo sú už vyvrátené. Chlorofyl síce odráža zelené spektrum ale ho i z časti pohlcuje ako vidno z obrázku 1.1, citlivosť na zelené spektrum je síce znížená ale nie je nulová, a vďaka odrazom v štruktúre listu dochádza k opakovanej absorpcii. Touto postupnosťou môže vzrásť reakcia až na 30 %. V rastlinách sú i ďalšie farbivá a enzýmy, ktoré reagujú i na iné časti spektra a podieľajú sa na fotosyntéze ako karotenoidy. Rastliny síce teda primárne reagujú na červenú a modrú zložku ale v globále sú celospektrálne.

Spektrá a ich vplyv:

- **Ultrafialová** – bráni predlžovaniu stoniek a listov
- **Fialová** – zahusťuje listy
- **Modrá** – zahusťuje korene, zvyšuje obsah chlorofylu, posilňuje stopky a stonky
- **Zelená** – podporuje tvorby kyslíka
- **Žltá a oranžová** – podporuje klíčenie a pozdĺžny rast
- **Červená** – podporuje rast a kvet, zväčšuje listy
- **Infračervená** – urýchľuje fotosyntézu

Intenzita svetla

Jednotka intenzity svetla je lux. Je to intenzita osvetlenia spôsobená svetelným tokom 1 lúmen dopadajúci na plochu 1 m², bez ohľadu na odrazivosť tejto plochy. Intenzita s rastúcou vzdialenosťou klesá. Pre pestovanie rastlín je potrebné vybrať zdroj z dostatočným svetelným výkonom pre zabezpečenie dostatočnej intenzity. To sa začína niekde na hodnote 1000 lux. Avšak i to je dosť nízka hodnota, ak i slnečný deň v tieni dosahuje intenzitu 10 000 lux.

Fotoperiód

Fotoperiód vyjadruje pomer medzi dňom a nocou. Nakoľko je potrebné rešpektovať biochemické procesy, ktoré sú závislé od tejto periódy je potrebné riadiť i časy svetla. Potrebné je i mať dostatočnú intenzitu aby prišlo čo k najväčšiemu osvetlu za čo najdlhší možný čas. Každý druh rastliny má svoje nároky na dĺžku dňa a noci. Zároveň vhodnou kombináciou spektra a času svetla je možné rastline napodobňovať ročné obdobia a tým ju prinútiť k ukončeniu rastu a začatiu kvitnutia.

1.2.2 Kyslosť (pH)

Kyslosť, acidita (kde p znamená záporný dekadický logaritmus a H označuje koncentráciu H^+ v roztoku) je číslo, ktorým sa vyjadruje v chémii, či vodný roztok reaguje kyslo, alebo zásadito. Stupnica bola stanovaná od 0 po 14. Chemicky čistá voda pri 25°C má pH 7, kyseliny od 0 do < 7, hydroxidy od > 7 do 14.

Hodnota pH je definovaná ako [9]:

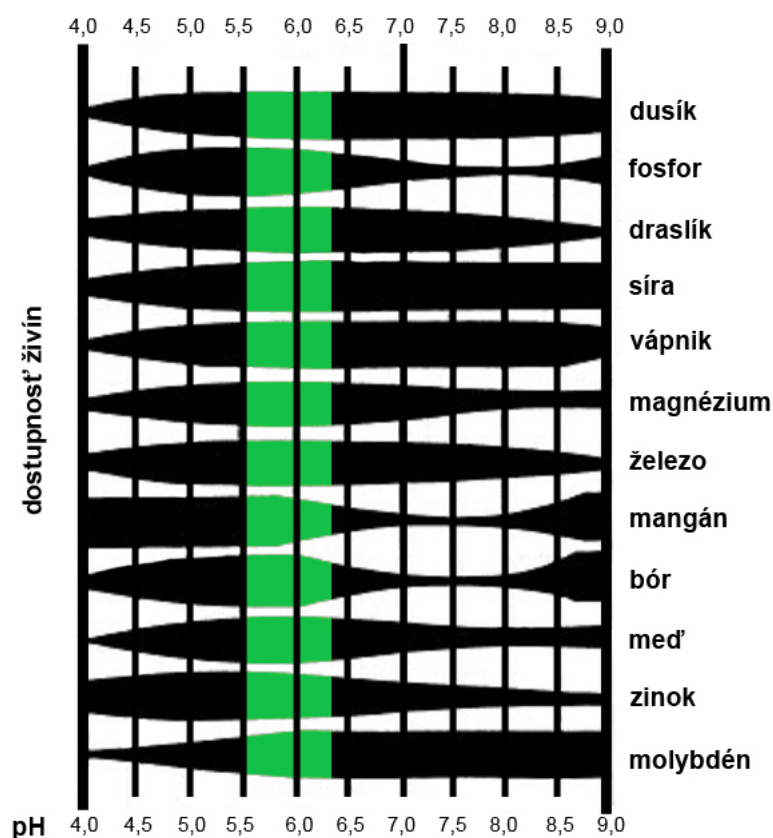
$$pH = -\log_{10}[H^+], \quad (1.2)$$

kde $[H^+]$ je relatívna koncentrácia vodíkových katiónov, alebo tiež

$$pH = \frac{\varepsilon}{0,059 \text{ V}}, \quad (1.3)$$

kde ε je napätie galvanického článku.

Pre optimálny rast a vstrebávanie živín je potrebné mať stabilné hodnoty, vstrebávanie prvku závisí od hodnoty pH ale i typu rastliny (v tomto prípade čilipaprika) vid obr. 1.2 (zelená oblasť – označuje ideálny rozsah). Dostupnosť živín (nutrient availability) je relatívny bezrozmerný pojem vyjadrujúci vzájomný vzťah rastliny, pH a vstrebávaného prvku, toto sa však môže meniť v závislosti od iných prvkov napr. vysoký obsah vápnika dokáže účinne blokovat príjem veľkého radu prvkov. V systémoch Drip kde živný roztok je recirkulovaný, dochádza omnoho k väčším výchyľkám a preto ho treba omnoho lepšie sledovať. Kolísanie spôsobujú najmä odpadné látky z koreňovej sústavy.



Obr. 1.2: Závislosť vstrebávania živín na hodnote pH (čilipaprika)

Ovplyvňovanie hodnoty

Rastliny vo fáze rastu vylučujú prvky, ktoré pH zvyšujú a naopak vo váze kvetu vylučujú látky po ktorých klesá. Ďalším faktorom sú stopové prvky obsiahnuté vo vode, z ktorej je živný roztok vytváraný, tvrdá voda (vysoký obsah vápenatých zložiek) má tendenciu pH zvyšovať. Naopak mäkká voda (osmotická) skôr prináša pokles, preto sa doporučuje na prvotné namiešanie roztoku použiť vodu destilovanú. Destilovaná voda je neutrálna a sama neprispieva ku zmenám. Výkyv je pozorovateľný i pri narušení škodcom alebo patogénom, typickým príkladom je silný pokles v krátkom čase pri napadnutí plesňou [10]. Správne zastabilizovaný roztok pre čili-papriky by mal kolísať v rozmedzí od 5,2 po 6,3 voľne a mierne počas celého dňa. Upravovače sú najčastejšie pre $pH+$ na báze 30% roztoku hydroxidu draselného a $pH-$ na báze 40% roztoku kyseliny dusičnej.

1.2.3 EC a hnojivo

EC z anglického „electric conductivity“ alebo elektrická vodivosť, je prevrátená hodnota elektrického odporu, meraná v jednotkách Siemens[S]. Zložky hnojív používané v hydropónii sú vyrobené z minerálnych solí. Keďže destilovaná voda neobsahuje žiadne minerály, tak nevedie elektrický prúd, ale čím väčšia bude koncentrácia iónov, tým bude rásť i EC. Vďaka tomu môžeme meraním vodivosti zisťovať silu nasýtenia roztoku živinami a tým kontrolovať optimálne podmienky pre rast.

V hydropónii sa využíva najmä sub-jednotka miliSiemens na centimeter – mS/cm, je to normalizovaná jednotka po prepočte, vyjadrujúca vodivosť roztoku medzi dvomi elektródami vzdialenými jeden centimeter pri teplote 25°C. Avšak v praxi sa vyskytujú i jednotky ako CF a TDS. CF (conductivity factor) alebo faktor vodivosti je len EC násobené desiatimi. TDS (total dissolved salts) inak celkové rozpustené soli v jednotkách ppm (parts per milion – počet jednotiek na milión) sa využíva najmä v Amerike. Korekčný faktor pre prepočet z EC na TDS je 700 ppm na mS/cm. Pri TDS meračoch si treba dávať pozor ako ho výrobca vyrobil, pretože každý typ soli či minerálu má inú svoju kapacitu pre vedenie el. energie tzn. dva roztoky vytvorené pri 1000 ppm dvomi rôznymi soľami budú mať iné hodnoty EC. Preto je potrebné vždy najskôr merať EC a potom prepočítavať na TDS [11]. Ovplyvňujúce faktory sú odparujúca sa voda a tým zvýšenie koncentrácie živín ale i odpadové látky rastlín. Ak sa EC dostane príliš vysoko, roztok sa stáva jedom a rastliny hynú.

Hnojivo

Hydroponické hnojivá musia dodať všetky potrebné výživové zložky. Tieto hnojivá sa líšia od klasických pôdnych hnojív. V hydroponii sa používa mnoho koncentrovanejšie hnojivo, ktoré je následne dorieďované v systéme a delí sa na druh A a B. Dôvodom rozdelenia na dva typy je zabránenie tvorby zrazenín, pretože vápenaté ióny reagujú so síranovými iónmi a fosforečnanmi za vzniku síranu a fosforečnanu vápenatého. Obe zlúčeniny sú slabo rozpustné. Preto sa používajú dva koncentráty. Typ A najčastejšie pozostáva z dusičnanu vápenatého a chelátu železa [12]. Typ B obsahuje všetky ostatné zložky. Tak sa vápenaté zložky udržia až do zmiešania a dávkovania od síranov a fosforečnanov.

1.2.4 Teplota a vlhkosť

Pre správny rast okrem všetkých predošlých faktorov, je potrebné vytvoriť i vhodnú klímu v okolí rastliny resp. v pestovateľskom boxe. Na tom sa podieľa teplota a vlhkosť.

Teplota

Rastliny sa delia na teplomilné a studenomilné. Zelenina ako napríklad čilipapričky majú radi veľa tepla. Teplota vzduchu by sa mala pohybovať okolo 24°C až 28°C počas dňa, nemala by klesnúť pod 18°C a zároveň nemala by presiahnuť 32°C dlhodobo a 35°C max. na polhodinu. A to hlavne v substráte, pretože pri teplotách nad 30 stupňov sa znižuje schopnosť prijímať kyslík a nad 35 stupňov sa už neprijíma vôbec a rastlina do hodiny hynie. Časté a veľké výkyvy spôsobujú veľký rozostup poschodí listov a vznikajú tým väčšie nároky na intenzitu svetla.

Vlhkosť

Vlhkosť vzduchu kolíše zároveň s teplotou, je ovplyvňovaná i výparom vody z rastliny a substrátu. Tak ako u teploty tak i vlhkosť závisí od typu rastliny, každej vyhovujú iné hodnoty. Všeobecne platí, že v prvých fázach klíčenia a rastu by mala byť vlhkosť na úrovni 80 %. V neskorších fázach od 60 % po 70 %. Vo fáze kvetu a plodu by ale už mala klesnúť ešte výraznejšie a to na 30 % až 50 %, zamedzuje sa tak vzniku plesní a húb. V samotnom substráte sa zase vlhkosť udržiava stabilne, stabilným prietokom živného roztoku.

1.2.5 Ventilácia

V pestovateľských boxoch sa nachádzajú tri najčastejšie typy ventilácie: nasávacia, vysávacia a cirkulačná. Pre správny priebeh fotosyntézy je potrebný dostatočný prísun oxidu uhličitého ale i kyslíka. Zároveň sa pomocou ventilácie reguluje prebytočná vlhkosť a teplota. Cirkulačné ventilátory majú za úlohy premiešavať vzduch aby nedochádzalo k vzniku miest s príliš rozdielnou teplotou a vlhkosťou a zároveň spôsobujú jemný kmit rastliny, čo vplýva na hrubnutie základného kmeňa rastliny, a tým k spevneniu nosného skeletu a zabraňuje uchyteniu spóram húb a plesní. Pri výbere nasávacej a vysávacej ventilácie treba dbať na dostatočný výkon.

1.2.6 Zavlažovanie

Zavlažovací systém pozostáva z 2 základných častí, cirkulácia roztoku a príprava. Pri cirkulácii sa dbá hlavne na stály prívod živného roztoku ku koreňovému balu a následnom odvode späť do zmiešavacej nádoby. Počas chodu systému sa po určitom čase tvorí usadenina v prívodných hadiciach, ktoré treba v pravidelných intervaloch čistiť. U prípravy sa hlavne jedná o správne namiešanie hnojív, regulácie EC a pH a reagovanie na rýchle zmeny, ktoré môžu nastať pri vracaní sa použitého roztoku. Taktiež je nutné pri príprave roztok okysličovať, aby sa ku koreňom skrz neho dostával kyslík.

2 NÁVRH AUTOMATICKÉHO HYDROPÓNEHO SYSTÉMU

Akýkoľvek automatický systém dnešnej doby je potrebné riadiť pomocou riadiacej jednotky (najčastejšie mikrokontrolér), ktorá riadi zmeny na základe údajov zo svojich periférií a tým sa dosahuje požadovaný výsledok, pre ktorý bol daný systém navrhnutý. To platí i u pestovaní rastlín, je potrebné spracovať mnoho údajov o stave vzduchu, substrátu, živného roztoku, štádium rastu a následne podľa toho riadiť a upravovať určité hodnoty aby sa dosiahol vyhovujúci stav pre rast. Na trhu sa dnes vyskytujú rôzne platformy od rôznych výrobcov. Avšak dnes sa do popredia dostali dve, Arduino a Raspberry Pi.

2.1 Analýza výberu riadiacej jednotky

V tomto projekte je potrebné spracovať množstvo dát z množstva senzorov, ktoré niektoré z nich využívajú svoje typické zbernice ale taktiež je potrebné vytvoriť možnosť pre online pripojenie a zobrazovanie informácií a tak na diaľku kontrolovať stav systému. Potrebné je ukladanie dát. Toto všetko kladie nároky nielen na výpočetný výkon ale i nároky na podporu zberníc či dostatok vstupných a výstupných pinov. V tomto bode sa ponúkajú ako bolo spomenuté platformy Arduino a Raspberry Pi a ich rôzne verzie.

2.1.1 Arduino vs. Raspberry Pi

Analyzované boli tri typy spĺňajúce základné požiadavky systému. Vybrané boli Arduino Mega2560[13], Arduino Due[14] a Raspberry Pi 3[15]. Základným rozdielom medzi Arduinom a Raspberry je v ich koncepcii. Arduino je mikrokontrolér, čo znamená, že nedisponuje vlastným operačným systémom a je viac orientovaný na prácu s hardvérom, Raspberry patrí medzi tzv. Single Board Computer (SBC), teda jedno-doskové počítače, ktoré disponujú vlastným operačným systémom a je skôr orientovaný na prácu so softvérom. Pri výbere je potrebné analyzovať požiadavky voči tomu čo každá platforma ponúka, zároveň tým dosiahnuť maximálnu využiteľnosť aby sa dosiahla i určitá ekonomická výhoda.

Porovnanie:

Tab. 2.1: Porovnanie parametrov

Platforma	Arduino	Arduino	Rasppbery
Model	Mega 2560	Due	Pi 3
Cena	12 – 42 €	48 €	33 €
Procesor	ATmega2560	Cortex M3	Broadcom BCM2837
Takt	16 MHz	84 MHz	1,2 GHz
Typ	8 bit	32 bit	64 bit
RAM	8 kB	96 kB	1 GB
FLASH	256 kB	512 kB	SD karta
Ethernet	modul/shield	modul/shield	integrovaný
Napájanie	7 – 12 V	7 – 12 V	5 V
Prac. napätie	5 V	3,3 V	5 V
Prúd na I/O pin	20 – 40 mA	130 mA	50 mA
I2C	áno	áno	áno
SPI	áno	áno	áno
UART	áno	áno	áno
USB	áno	áno	áno
OS	nie	nie	Linux
Počet digital. pinov	54	54	40
Počet analog. pinov	16	12	0
PWM	15	12	0

Ako vidno z tabuľky 2.1 Rasppbery obidve Arduiná predčí v mnohých parametroch, či už veľkosťou dynamickej pamäte, rýchlejším procesorom, veľkosťou spracovávaného slova. Avšak treba si uvedomiť i iné faktory, nevýhodou je absencia analógových vstupných pinov, čo zamedzuje merať analógové veličiny bez použitia digitálnych senzorov, chýbajúca PWM regulácia prináša problém pre riadenie výkonu ventilácie, chladenia, vykurovania ale i osvetlenia. Pri porovnaní Mega a Due je vidieť podobnosť, Due ma síce tiež vyšší výpočtový výkon a väčšie pamäte, ale jeho problém je v používaní procesora Cortex, ktorý ako pracovné napätie využíva úroveň 3,3 V, čo prináša značný problém pri používaní väčšiny periférií, ktoré sú stavané na úroveň piatich voltov a je nutné používať prevodníky napätia, čo sťažuje jednu z najväčších výhod Arduina a to rýchle pripojenie periférii. Taktiež má znížený počet analógových a PWM pinov, čo prináša hlavne pri PWM regulácii značný problém v nedostatku takýchto pinov.

Nevýhodou sa môže zdať absencia ethernet a SD portu, nakoľko Pi ich má integrované, u Arduina sa však dajú veľmi elegantne doplniť pomocou shieldu. Z celkového hľadiska je Raspberry stavané pre tvorbu multimediálnych zariadení s prvkami automatizácie, oproti tomu Arduino zo svojej povahy je určené na tvorbu automatických systémov. Po ekonomickej stránke je Arduino veľmi zaujímavá platforma a to hlavne z dôvodu vzniku tzv. klonov, ktoré sa dnes pohybujú v tretinových cenách oproti originálu. Overenie si vlastností takéhoto klonu je súčasťou i tohto projektu. A preto ako riadiaca jednotka pre tento systém bolo vybrané Arduino Mega 2560.

2.1.2 Riadiaca jednotka – Arduino

Arduino je open-source platforma založená na mikroprocesoroch ATmega od firmy Atmel. Hlavnou myšlienkou Arduina je sprístupniť prácu s mikrokontrolérmi i menej zdatným programátorom, dokonca začiatočníkom. Avšak časom si táto platforma našla miesto i u profesionálov a tak vznikli rôzne verzie ponúkajúce množstvo rozšírení, modulov a shieldov, ktoré z Arduina dnes robia univerzálny nástroj pre tvorbu vlastných IoT zariadení na profesionálnej úrovni.

Mega2560 [13]

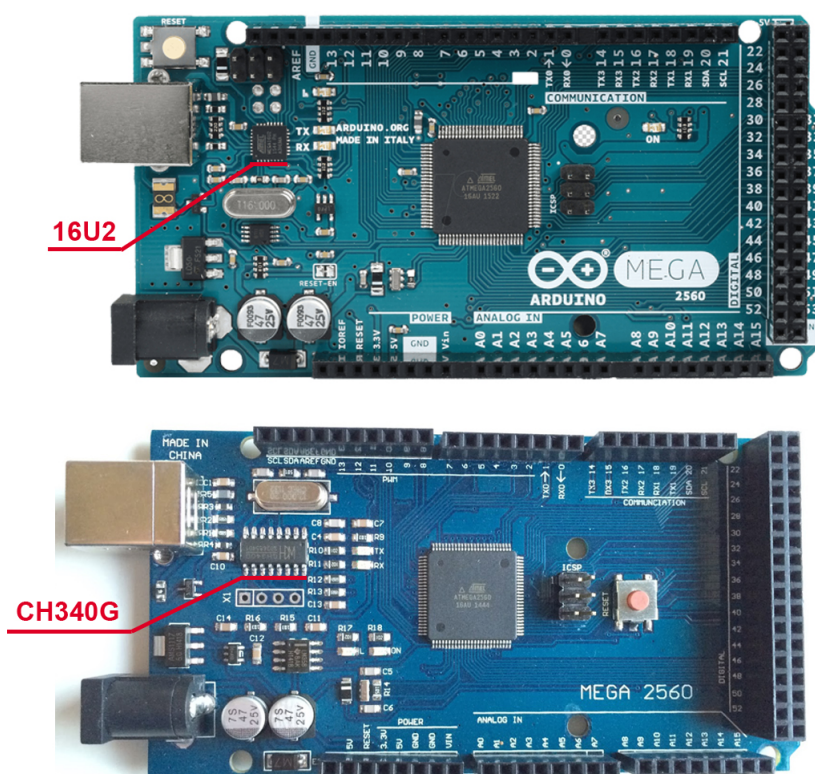
Arduino Mega2560 je 8-bitový mikrokontrolér založený na čipe ATmega2560. Oproti svojim predchodcom ako *Nano*, *Uno* a iné, sa líši väčším počtom I/O digitálnych pinov, vyšším výkonom a väčšou pamäťou.

Arduino Mega2560 disponuje:

- **oscilátor** – 16 MHz
- **FLASH** – 256 kB, pamäť, kde je umiestnený zavádzač a nahratý program, nezávislá na napájaní
- **SRAM** – 8 kB, pamäť pre premenné a výpočty počas behu programu, po prerušení napájania sa dáta vymažú
- **EEPROM** – 4 kB, pamäť nezávislá na napájaní, počas behu programu sem možno ukladať dáta, obmedzený počet zápisov
- **54 digitálnych I/O pinov** – z toho 15 z nich podporuje PWM
- **16 analógových vstupných pinov**
- **rozhrania a zbernice** – UART, I²C, SPI, One Wire
- **reset tlačidlo**
- **zdroje prerušenia**
- **režimy spánku**
- **10 bitový AD prevodník** – 16 kanálov
- **Watchdog** – časovač s vlastným oscilátorom

Pre túto prácu bol vybraný namiesto originálneho Arduina jeho čínsky klon, kde jediným hlavným rozdielom je použitie iného prevodníka medzi USB a sériovou linkou (u Arduina UART). Originál využíva pre komunikáciu cez USB u starších verzií čip od firmy FTDI [16] a u novších vlastný čip ATmega16U2 [17], ktorý oproti FTDI disponuje vlastným kryštálom a rýchlejšou TX/RX komunikáciou. Naproti tomu klon využíva čip CH340G [18] vid obr. 2.1 dole, ktorý znižuje výslednú cenu Arduina na tretinu oproti originálu. Pri používaní klonu je nutné inštalovať do PC ovládač pre tento prevodník [19], keďže ovládače pre FTDI a Atmel prevodníky sú už súčasťou operačných systémov, najmä Windows. Ďalšie rozdiely sú skôr optické ako iná farba dosky a iné rozloženie súčiastok na doske ale i použitie lacnejších verzií súčiastok ako sú LED diódy, stabilizátory napätia, kondenzátory.

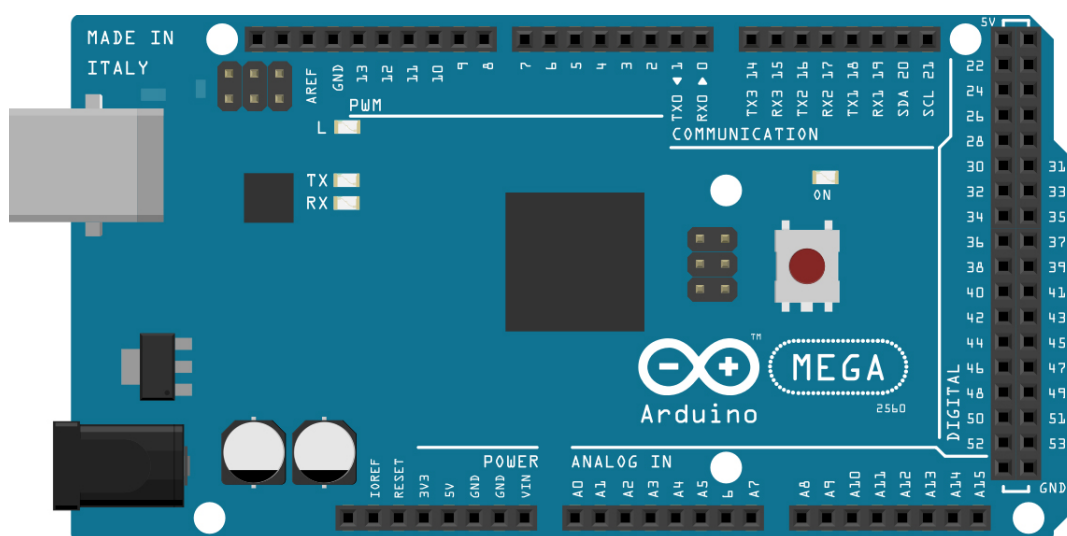
Zároveň jedným z účelov výberu klonu je i otestovať v praxi stabilitu a spoľahlivosť klonu, keďže na rôznych diskusných fórach sa často vyskytuje informácia, že sú nestabilné, nepodporujú niektoré moduly a shiedly alebo dokonca niektorí deklarujú nižšiu životnosť oproti originálu.



Obr. 2.1: Porovnanie originálneho Arduina (hore) s klonom (dole)

Rozloženie a typy pinov

Pri práci s Arduino narazíme na niekoľko druhov pinov, niektoré slúžia len pre jeden účel ako napájanie, reset a pod. Niektoré však je možno použiť na viacero účelov podľa aktuálnej potreby ako napríklad digitálny vstupný alebo výstupný pin alebo pre PWM reguláciu. Tieto piny majú svoje špecifické uloženie na doske a to z dôvodu zachovania kompatibility so shieldmi, ktoré sú primárne tvorené pre UNO a vytvárajú tzv. „sendvičovú štruktúru“. Analógové piny sú len vstupné ale dajú sa použiť i ako I/O piny digitálne re-definíciou pri deklarácii pinov. Piny, ktoré sú určené pre zbernice a PWM sa dajú takisto použiť ako I/O, pokiaľ nemáme potrebu niektorú zbernicu alebo reguláciu využívať.



Obr. 2.2: Rozloženie pinov a ich funkcie [20]

Vývojové prostredie Arduino IDE 1.8.5

Vývojové prostredie Arduina pozostáva z textového editora pre písanie kódu, zobrazovanie správ, konzola, lišta s príkazmi pre bežnú prácu a ponukou nástrojov. Pomocou IDE sa vykonáva pripojenie na hardware, nahrávanie programu a komunikáciu a hlavne písanie programu. Napísaný program sa označuje ako sketch, teda návrh, má koncovku *ino* a je editovateľný v textovom editore. Messages (správy) slúžia pre spätnú väzbu pri kompilácii a ukladaní, upozorňuje na chyby v programe alebo na chyby pri nahrávaní programu do dosky.

Rozhrania a zbernice

Arduino ponúka vo svojej výbave štyri typy rozhraní s ich typickými zbernicami: UART, I²C, SPI a One Wire, kde každá z nich zabezpečuje komunikáciu a zber dát pre rôzne rozšírenia, ktoré sú dostupné na trhu.

UART

Universal Asynchronous Receiver and Transmitter / Univerzálny asynchrónny prijímač a vysielateľ je rozhranie pre sériovú komunikáciu, ktoré konvertuje dáta medzi paralelným a sériovým rozhraním. UART je bežne používaný v mikroprocesoroch pre komunikáciu s počítačom alebo periférnym zariadením. Výhodou je nepoužívanie hodinového signálu odoslaného od vysielateľa k prijímaču. Dáta sa vysielajú z pinu označeného ako TX (Transmitter) a prijíma sa na pine RX (Receiver). Kľudová úroveň je log.1. Vysielateľ sa začne zmenou signálu na log.0 po dobu jedného bitu tzv. štart bit. Následne sa postupne z posuvného registra odosiela bit po bite od LSB po MSB, nasleduje paritný bit pre jednoduchú kontrolu (ale len ak bol predtým dohodnutý) nasledovaný stop bitom, ktorý má úroveň log.1. [21]

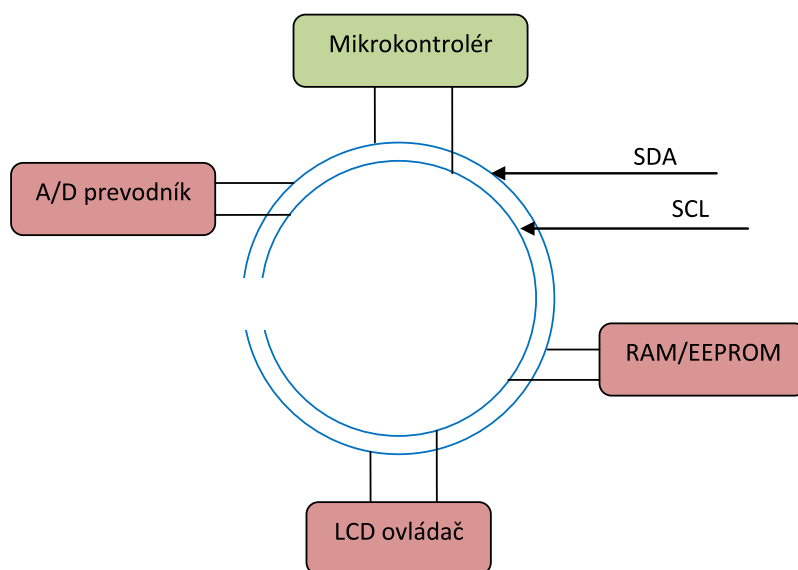
Na Arduine sa UART štandardne nachádza na pinoch D0 (RX) a D1 (TX) označený ako „Serial 0“ a je primárne rezervovaný pre USB komunikáciu s PC. Pracovné napätie je na úrovni 5 V alebo 3,3 V. Doska Mega2560 disponuje ďalšími tromi sériovými portmi viď tabuľka 2.2.

Tab. 2.2: Piny sériových portov Mega2560

	RX/TX
Serial 0	D0/D1
Serial 1	D19/D18
Serial 2	D17/D16
Serial 3	D15/D14

I²C

Inter-Integrated Circuit - protokol a zbernicu vyvinula firma Philips Semiconductor pôvodne pre svoje TV prijímače v roku 1980 za účelom komunikácie medzi obvodmi na jednej DPS pri použití minimálneho množstva pinov. Špecifikácia zbernice I²C je založená na jednoduchých hardvérových štandardoch a rovnako jednoduchého softvérového štandardu pre komunikačný protokol. Zariadenia sa delia do dvoch typov **master** - začína a končí dátový prenos generovaním štart bitu a stop bitu, generuje hodinový signál, vysieľa adresu podriadeného, **slave** - odpovedá iba v prípade, že rozpoznal svoju adresu, časovanie prenosu je riadené hodinovým signálom. [22]



Obr. 2.3: Ukážka topológie zbernice I²C

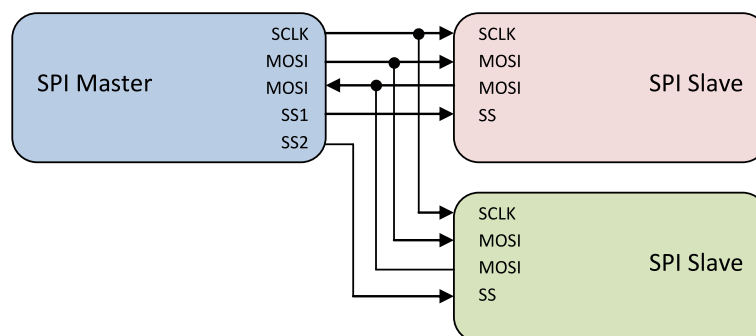
Vzdialenosť komunikujúcich zariadení je limitovaná na max. 4 m z dôvodu udržania komunikačnej rýchlosti. Zbernica používa dva vodiče - Serial Data (SDA) a Serial Clock (SCL) vid obr. 2.3. Táto zbernica je synchrónna, multimastrová - i slave môže byť nastavený tak aby začal komunikáciu, zbernica využíva polovičný duplex - každé zariadenie je na zbernici identifikované svojou 7 alebo 10 bitovou adresou. Linky SDA aj SCL sú pripojené na napájacie napätie pomocou tzv. pul-lup rezistorov. Obvody, ktoré používajú I²C protokol zahŕňajú pamäte EEPROM a RAM, senzory teploty, expandéry portov, hodiny reálneho času, taktiež na komunikáciu medzi dvoma Arduinami. Na doske Mega2560 sa využívajú pre túto zbernicu dva digitálne piny, a to pin D20 pre SDA a pin D21 pre SCL.

SPI

Serial peripheral interface je to štvorvodičová synchrónna sériová zbernica pracujúca v móde full duplex slúžiaca na prepojenie periférií s mikropočítačmi. Protokol bol definovaný firmou Motorola. Zariadenia komunikujú spôsobom master/slave, kde zariadenie master iniciuje dátový rámec. Použitie SPI v prípadoch, kedy je k jednému zariadeniu master pripojených viacero zariadení slave, je síce možné, ale na ich realizáciu musí master disponovať potrebným počtom slave select (chip select) vývodov. Zbernica SPI teda definuje 4 piny pre svoje použitie a na nich špecifikuje štyri logické signály [23]:

- **SCLK** – Serial Clock, časovač pre zbernicu
- **MOSI** – Master Output, Slave Input (výstup od master)
- **MISO** – Master Input, Slave Output (výstup od slave)
- **SS** – Slave Select (active low - logickú jednotku reprezentuje nižšia úroveň napätia; výstup od master)

Zbernica SPI vie pracovať s jedným zariadením master a jedným alebo viacerými zariadeniami slave vid obr. 2.4 . Niektoré zariadenia vyžadujú na pine SS hranu prechodu napätia z vyššej úrovne na nižšiu pre iniciáciu akcie. Ak je pripojených viacero zariadení slave, je potrebný samostatný SS signál zo zariadenia master do každého zariadenia slave. Väčšina zariadení slave má trojstavový výstup, takže ich signál MISO sa stane hi-Z (vysoko-impedančný a neovplyvňuje obvod, do ktorého je zapojený), keď zariadenie nie je vybraté. Zariadenia bez trojstavového výstupu nemôžu zdieľať segmenty SPI zbernice s ostatnými zariadeniami. Iba jedno zariadenie môže komunikovať so zariadením master a iba jeho SS môže byť aktivované.



Obr. 2.4: Topológia zbernice ISP

Pred začatím komunikácie master najskôr nastaví hodinový signál SCLK na hodnotu frekvencie menšej alebo rovnej maximálnej frekvencie, ktorú slave podporuje. Master potom vyberie požadovaný slave nastavením jeho signálu SS na úroveň logickej jednotky. Ak je nutná čakacia doba (napríklad pri AD prevode), potom master musí čakať minimálne po tento čas, kým začne vykonávať hodinové cykly. Počas každého hodinového cyklu sa vykoná prenos dát: master pošle bit po linke MOSI, slave ho z tejto linky prečíta, slave pošle bit po linke MISO, master ho z tejto linky prečíta.

Nie všetky prenosi vyžadujú všetky štyri operácie, ale vykonajú sa, aj keď nemajú význam. Pri prenosoch sa väčšinou používajú dva posuvné registre veľkosti danej dĺžkou slova, napríklad osem bitov, jeden v zariadení master, druhý v zariadení slave. Sú spojené do kruhu. Dáta sa väčšinou vyberajú od MSB a do rovnakého registra sa presunie nový LSB. Po tom, čo je tento register vybratý, si master a slave navzájom vymenili hodnoty v registroch. Následne každé zariadenie vezme túto hodnotu a nejak ju spracuje, napríklad si ju zapíše do pamäte. Ak existujú ďalšie dáta, ktoré majú byť vymenené, posuvné registre sa naplnia novými hodnotami a proces sa opakuje. Prenos môže trvať ľubovoľný počet hodinových cyklov. Keď už nie sú žiadne dáta, master prestane vysielat hodinový signál. Väčšinou potom odznačí slave. Prenos sa často skladá z osem bitových slov, bežné sú však aj iné dĺžky slov. Každý slave na zbernici, ktorý nebol aktivovaný cez SS linku, musí ignorovať vstupujúci hodinový a MOSI signál a nesmie vysielat cez MISO. Master musí vybrať v danom čase iba jeden slave.

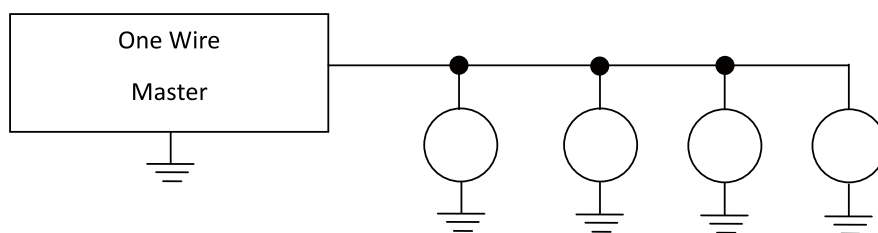
Keďže cez SPI sa k Arduinu pripájajú najčastejšie dve periférie a to ethernet modul/shield alebo modul pre SD kartu sú piny definované takto vid tab. 2.3:

Tab. 2.3: Piny zbernice SPI pre rôzne Megu a Due

Arduino	MOSI	MISO	SCLK	SS	Level
Mega 2560	51 / ISCP 4	50 / ISCP 52	13 / ISCP 3	4/10/53	5 V
Due	51 / ISCP 4	50 / ISCP 52	13 / ISCP 3	4/10/53	3,3 V

One Wire

Protokol One Wire vyvinul Dallas Semiconductor pôvodne na prepojenie zariadení na krátke vzdialenosti, typicky na vzdialenosti na plošnom spoji a na komunikáciu používa iba jeden vodič. Rozšírením tohto protokolu umožňuje prepojenie zariadení na oveľa väčšie vzdialenosti. Sieť predstavuje komplexné usporiadanie One-Wire zariadení, komunikačných liniek a prepojení, pričom každá takáto sieť je navrhnutá podľa požiadaviek na topológiu a hardvér. One Wire master zariadenie je kľúčový prvok siete. Ako jediné zariadenie môže inicializovať komunikáciu so slave zariadeniami. U Arduina môžeme využívať pre zbernicu One Wire akýkoľvek digitálny pin.



Obr. 2.5: Lineárna topológia zbernice One Wire

Kritické hodnoty, ktoré popisujú siete sú rádius a záťaž. Rádius predstavuje najväčšiu vzdialenosť medzi masterom a slaveom a je meraný v metroch. Záťaž reprezentuje celkovú dĺžku vodiča zapojeného v sieti a rovnako je meraná v metroch. Na príklad v sieti zapojenej do hviezdy s tromi vetvami s dĺžkami 10, 20 a 30 metrov máme rádius 30 metrov a záťaž 60 metrov. Všeobecne, záťaž siete obmedzuje dobu nábehu na vodiči a rádius stanovuje načasovanie najpomalšieho odrazu signálu. Záťaž, ktorú sieť podporuje je obmedzená a okrem dĺžky samotného vodiča je určená aj počtom prepojení a slave zariadení a je stanovená na maximálne 500 metrov. Každý slave pridá záťaž podobnú záťaži kusu vodiča, takže pri návrhu siete treba pripočítvať pre každé slave zariadenie záťaž 0,5 metra. Aj keď je záťaž ovplyvnená viacerými faktormi, najväčším prispievateľom je kapacita, každé prepojenie, ktorého parazitná kapacita prekračuje 24 pF pridáva záťaž 0,5 metra. [24]

2.2 Pestovateľský box

Pri pestovaní sa v hydroponii používajú v komerčných verziách väčšie priestory riadené ako celok, pre menšie priestory ako hobby pestovanie sa využívajú pestovateľské boxy, ktoré môžu byť z plastu, látky, dreva, popřípade drevotriesky.

Návrh

Koncept boxu v tomto projekte je navrhnutý ako kompaktná samostatná samonosná jednotka. Požiadavky pri takomto boxe sú vodeodolnosť – nakoľko v priestore je pri pestovaní vysoká vlhkosť vzduchu a je tam i riziko striekajúcej vody, celková pevnosť – box musí niesť všetky súčasti systému. Na tento účel bola vybraná hustovláknitá DTD doska s laminátovou vode-odolnou úpravou s hrúbkou 18 mm. Doska má tým pádom veľkú nosnosť a odolnosť za cenu vyššej samotnej hmotnosti. Preto je spodná podstava pre ľahšiu manipuláciu osadená kolieskami. Predok je tvorený dvoj krídlowymi dverami pre ľahký prístup. Pre dostatok vzduchu a i vlastného priestoru pre rast boli stanovené rozmery s ohľadom na typ rastliny, pre ktorú je tento box primárne navrhovaný, a to čilipapriky, podstava 700x700 mm a výška 1200 mm, čo zodpovedá 588 litrom vnútorného priestoru. Veľkosť podstavy dovoľuje pestovať väčší počet rastlín súčasne, čo zvyšuje ekonomickosť celého systému. Na automatizované pestovanie je potreba zásobníkov na látky, z ktorých bude upravovaný živný roztok. Ide o upravovače pH plus a mínus, hnojivá typu A a B zároveň zmiešavacia nádoba pre samotný roztok. Celkovo 5 nádob a jedna z nich minimálne s 5 násobne väčším objemom.



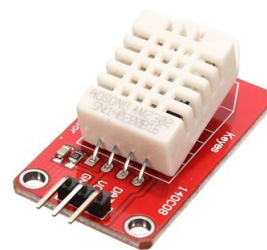
Obr. 2.6: Navrhnutý pestovateľský box

2.3 Meranie teploty a vlhkosti

Teplota a vlhkosť hrajú pri pestovaní podstatnú úlohu, riadiť sa nimi bude ventilácia pre udržanie správnej klímy, ohrev substrátu, výpočet EC. Tieto hodnoty budú získavať pre teplotu a vlhkosť vzduchu modul DHT22 a teplotu roztoku a substrátu bude merať teplomer vo vodotesnom prevedení Dallas DS18B20.

Teplomer a vlhkomer DHT22

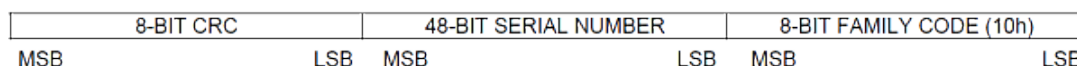
Modul je založený na čipe AM2302, patrí medzi kapacitné typy s digitálnym výstupom. Rozsah merania a citlivosť je pre teplotu od -40 do $+50$ °C s presnosťou $\pm 0,5$ °C a vlhkosť vzduchu v rozmedzí 0 – 100 % s presnosťou ± 2 %. Aktualizácia údajov je každé 2 s.



Obr. 2.7: Modul DHT22

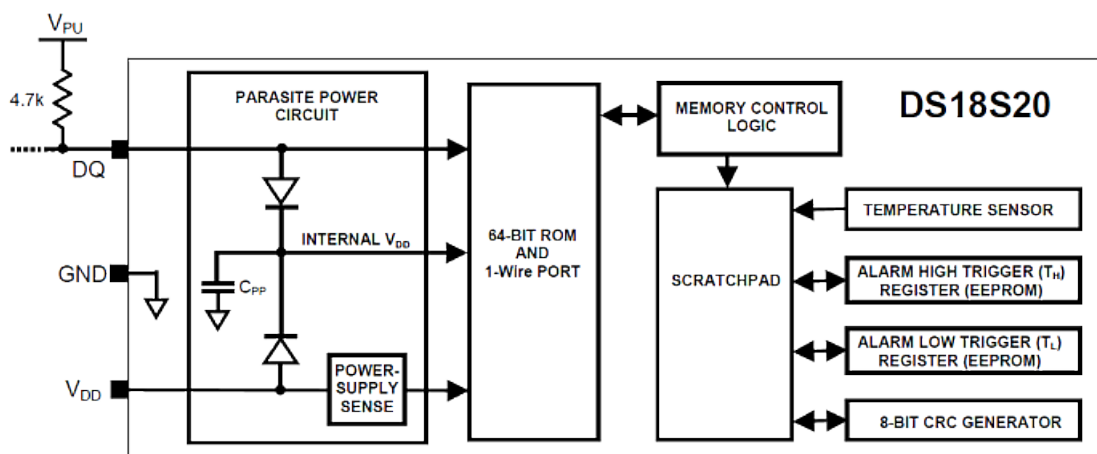
Teplomer Dallas DS18B20

Digitálny teplomer pracujúci na zbernici One Wire. Disponuje rozsahom od -55 °C do $+125$ °C. V predchodcovi DS18S20 síce bolo meranie teploty s presnosťou 12 bitov ale vždy dochádzalo ku 9 bitovej konverzii, vo verzii B20 si už užívateľ môže presnosť vyberať. Keďže na jednu zbernicu One Wire je možné pripojiť viacero teplomerov, je nutné použiť adresáciu. Preto každý vyrobený teplomer vlastní unikátnu 64-bitovú adresu. Skladá z troch častí: 8 bitovú časť FAMILY CODE označuje výrobcu zariadenia, každý výrobca má určený svoj rozsah, 48 bitovú časť SERIAL NUMBER určuje výrobca, ide o sériové číslo výrobku, posledná časť 8 bitový CRC kód je vypočítaný z prechádzajúcich dvoch častí, mikroprocesor si túto časť dopočítava sám a porovnáva, pomocou toho sa dosahuje kontrola príjmu dát zo správnej adresy. [25]



Obr. 2.8: Štruktúra adresy

Bloková schéma sa delí na dve časti. Napájacia časť je napájaná externým zdrojom alebo pomocou parazitného napájania. Pri parazitnom napájaní je prúd privádzaný cez pull-up rezistor na pin DQ, aby bolo napätie zbernice vo vysokom stave, súčasne sa nabíja vnútorný kondenzátor CPP, ktorý napája teplomer keď je zbernica v nízkom stave signálu. Pri parazitnom napájaní musia byť piny VDD a GND prepojené.



Obr. 2.9: Blokové schéma DS18B20 [25]

Pamäťová časť DS18B20 je rozdelená na dve oblasti. Nezávislá pamäť EEPROM, v ktorej môžu byť uložené hodnoty teploty pre funkciu alarmu. Pamäť SRAM označovaná, ako „scratchpad“ má veľkosť 8 bajtov. Bajty 0 a 1 obsahujú LS a MS BYTE registra teploty a sú iba na čítanie. Bajty 2 a 3 poskytujú prístup k registrom TH a TL a sú určené pre nastavenie vysokej a nízkej hodnoty teploty pre funkciu alarmu. O znamienku uloženej hodnoty rozhoduje príznak „S“ uložený na bíte 7. Ak je S rovné 0, hodnota je pozitívna, ak je rovné 1 hodnota je negatívna. Bajty 4 a 5 sú rezervované výrobcom a majú hodnotu 0xFF. Bajty 6 a 7 obsahujú registre COUNT_REMAIN a COUNT_PER_C, v ktorých sú uložené dáta pre výpočet rozšíreného rozlíšenia merania teploty. Posledný 8. bajt obsahuje kontrolný súčet CRC vypočítaný teplomerom.

Výpočet teploty

Po prijatí príkazu na vyhodnotenie teploty, teplomer vykoná meranie a digitálnu konverziu. Po konverzii sú namerané hodnoty uložené v dvoj-bajtovom registri. Použitím dát z registrov COUNT_REMAIN a COUNT_PER_C je možné dosiahnuť rozlíšenie vyššie ako 9 bitov. COUNT_PER_C je fixne nastavený na hodnotu 0x10. TEMP_READ je získaná odstránením nultého bitu z teplotných dát. Teplota s rozšíreným rozlíšením v stupňoch Celzia sa potom vypočíta pomocou vzorca:

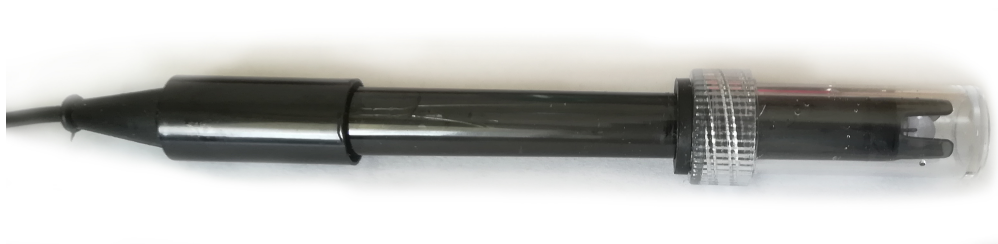
$$T = \text{TEMP_READ} - 0,25 + \frac{\text{COUNT_PER_C} - \text{COUNT_REMAIN}}{\text{COUNT_PER_C}} \quad (2.1)$$

2.4 Meranie EC a pH

Meranie týchto hodnôt patrí medzi najzložitejšie z dôvodu, že ich hodnoty vychádzajú zo zložitých chemických vlastností roztoku. Avšak tieto hodnoty majú zásadný vplyv pre život rastliny, oproti teplote a vlhkosti sa rastlina voči vysokým výchylkám nedokáže brániť.

pH sonda

Najrozšírenejším typom je iontovo selektívna elektróda so sklenenou membránou. Konštrukcia má jedno telo kde sa nachádza meracia i referenčná elektróda. Obe sú zo strieborného drôtu potiahnutého pastou AgCl. Sklenená membrána zo špeciálneho skla je priepustná len pre ióny H^+ . Pri ponorení do kyslého roztoku nadbytok iónov H^+ spôsobia uvoľňovanie iónov Cl^- . Zvyšuje sa spotreba elektrónov na drôte a tým voči referenčnej elektróde nadobúda kladné napätie. V zásaditom príde k opačnému efektu a elektróny sa budú odovzdávať a tým vznik záporného napätia. Referenčná katóda je ponorená v referenčnom elektrolyte KCl.



Obr. 2.10: pH sonda

EC sonda

EC sonda meria elektrickú vodivosť v roztoku. Existujú dva typy laboratórne a priemyselné, laboratórne využívajú potenciometrickú metódu a štyri valcové elektródy z platiny. Na dve vonkajšie elektródy sa privádza striedavý prúd. Meria sa následne vzniknutý potenciál na vnútorných elektródach. Priemyselné zase využívajú indukčnú metódu, kde výhodou je eliminovanie elektrolýzy roztoku. Využívajú sa dve cievky zviazané indukčnou väzbou, do prvej je privádzané presné napätie, druhá tvorí sekundárne vinutie transformátora. Kvapalina, ktorá prechádza kanálom v čidle vytvára ďalšiu časť sekundárneho vinutia. Indukovaný prúd je následne meraný ako výstup snímača.

2.5 Umelé osvetlenie

Pre správny priebeh fotosyntézy je potrebný zdroj svetla s dostačujúcim výkonom a s tým schopnosť dodať dostatok svetelného výkonu s v správnom spektre, dnes sa využívajú rôzne druhy umelého osvetlenia, ktoré každé prináša svoje výhody a nevýhody.

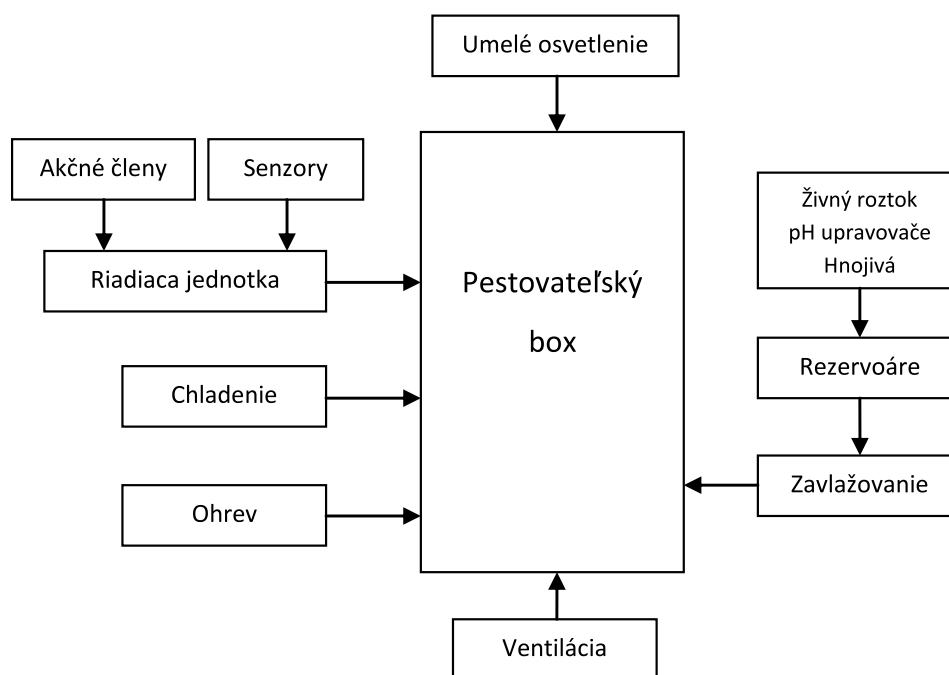
- **MVL** – ortuťové výbojky, dnes sa už takmer nepoužívajú, mali modrasté svetlo s malou účinnosťou, problém s recykláciou, svetelná účinnosť okolo 50 lm/W [26]
- **HPS** – vysokotlakové sodíkové výbojky, patria medzi najpoužívanejšie, vyznačujú sa dobrým pomerom cena/výkon, disponujú dobrým podaním farieb s jemne zvýšenou červenou časťou, svetelná účinnosť okolo 120 lm/W [27]
- **MH** – halogenidová výbojka obsahujúca vzácne plyny, tiež majú dobré podanie farieb ale s jemným poklesom červeného spektra, technologicky náročné, svetelná účinnosť okolo 75 lm/W [28]
- **CFL** – kompaktné fluorescenčné žiarivky, nízkotlakové ortuťové výbojky s luminoforovou vrstvou, ako prvé mali možnosť stmievania, oproti ostatným tvoria málo tepelnej energie, má vyvážené podanie farieb, svetelná účinnosť okolo 80 lm/W [29]
- **LED** – led osvetlenie si dnes ešte len vydobýva svoje postavenie, výhodou je dobrá svetelná účinnosť okolo 100 – 180 lm/W, možnosť stmievať, pomerne studený zdroj svetla, nespornou výhodou je presný výber spektra, oproti ostatným bezpečnejšie a úspornejšie [30]

V tomto projekte je navrhnuté LED osvetlenie ako moderný a zaujímavý zdroj umelého osvetlenia s nízkou spotrebou elektrickej energie, čo znamená znižovanie nákladov. Ako bolo spomenuté výhodou je možnosť riadenia spektra a výkonu a tým pádom sa znižuje cenová náročnosť na osvetlenie v rôznych častiach vývinu rastliny. Osvetlenie bude zložené z dvoch častí, kruhovým svietidlom na pohyblivom závесе nad rastlinou a štyrmi panelmi umiestnených na stenách boxu, neaktívnou súčasťou umelého osvetlenia bude odrazivá hliníková fólia podporujúca rozptyl a odrážanie svetla a tým bude prispievať k účinnejšiemu využitiu.

2.6 Kultivácia

V neposlednom rade súčasťou systému je i samotná kultivácia resp. starostlivosť o rast zahŕňa zavlažovanie, ventiláciu a chladenie vzduchu, ohrev pestovacieho substrátu. Pre zavlažovanie je potreba privádzať a odvádzať roztok, zabezpečiť jeho okysličovanie a prípravu. Ventiláciu budú zabezpečovať nasávacie a výšavacie ventilátory pre výmenu vzduchu a vnútorné obehové ventilátory určené na premiešanie vzduchu vo vnútri boxu. Ohrev substrátu na požadovanú teplotu bude zabezpečovať výhrevný systém umiestnený pod substrátom. Pri prekročení teploty bude nabiehať chladiaci systém pre zníženie teploty vzduchu. Všetky tieto časti kultivácie sú bližšie popísané v časti realizácie celého systému v samostatných častiach s popismi ich tvorby a realizácie.

Na obrázku 2.11 je uvedená bloková schéma pestovateľského boxu s jeho súčasťami. Riadiaca jednotka spolu s akčnými členmi (čerpadlá, ventilátory a pod.) a senzormi (teplomery, vlhkomery a pod.) sú zodpovedné za riadenie všetkých pochodov a činností v systéme. Spôsob riadenia, získavania hodnôt a reakcia systému na ne ako i zobrazovanie dát pre pestovateľa sú bližšie popísané v časti Realizácia systému.

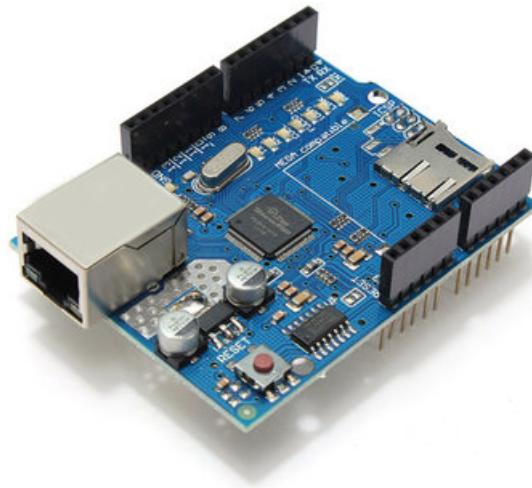


Obr. 2.11: Bloková schéma pestovateľského boxu

2.7 Periféria

Okrem samotnej riadiacej jednotky, je v systéme potreba mať i množstvo senzorov pre získavanie dát a následne akčných členov ako sú spínacie prvky, motory, čerpadlá a podobne, ktoré sú používané na základe vyhodnotenia dát zo senzorov. Vďaka výrobcam tretích strán ale i samotnému Arduino vzniklo množstvo rýchlo pripojiteľných a ľahko konfigurovateľných modulov a shieldov. V tejto kapitole sú uvedené len periféria, ktoré boli v tomto projekte použité. Shildy od modulov sa líšia tým, že majú rovnaké rozloženie pinov, sú tvarovo identické s Arduino Uno a majú priechodzie piny pre ďalšie použitie.

Ethernet shield

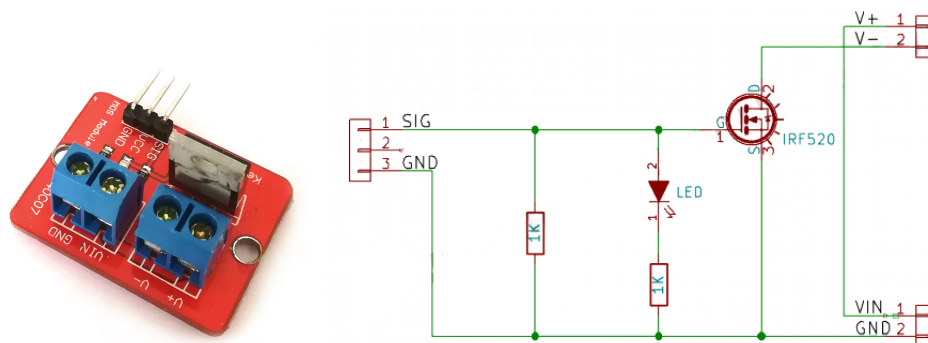


Obr. 2.12: Ethernet shield W5100

Tento shield je založený na čipe od firmy Wiznet W5100 [31]. Výhodou je podpora priamo knižnicou Ethernet. Zároveň disponuje slotom pre mikro SD kartu. Využíva zbernicu SPI a je pripájaný pomocou ICSP hlavy, ako SS pin pre časť ethernet slúži pin D10 a pre SD pin D4. Podporuje TCP/UDP komunikáciu, štyri simultánne sockety, protokoly DHCP, ICMP, ARP, IGMP a od verzie 3 i PPPoE, half i full duplex komunikáciu, dokáže vytvoriť vlastný jednoduchý web server. Na fyzickej úrovni pripojenie poskytuje klasický konektor RJ45 spolu s ochranným transformátorom pred statickými výbojmi zo siete. Rýchlosť je 10/100 Mbit/s. Má vlastnú PHY a MAC vrstvu a 16 kB vyrovnávajúcu pamäť, čím šetrí výpočtový výkon Arduina.

IRF520

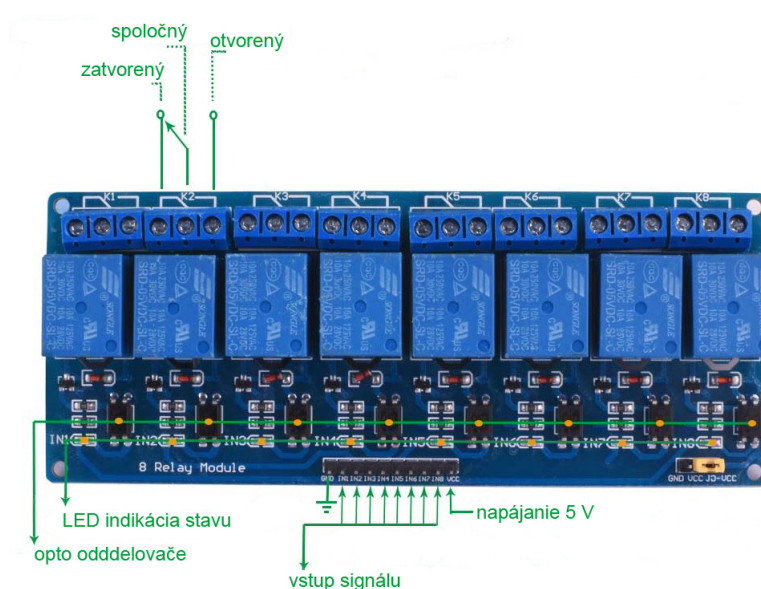
Modul založený na N-MOSFET tranzistore IRF520, pomocou neho je možné riadiť zariadenia s väčším napätím a prúdom, než zvládne samotné Arduino, keďže piny Arduina sú napájané 5 V a znesú krátkodobé zataženie 40 mA, dlhodobé 20 mA. Maximálny dovolený prúd pri 24 V je 5 A a od 1 A je nutné použiť chladič. Rozsah napätia je od 0 po 24 V. Podporuje PWM riadenie výstupu.



Obr. 2.13: Mosfet modul IRF520 a jeho schéma

Relé modul

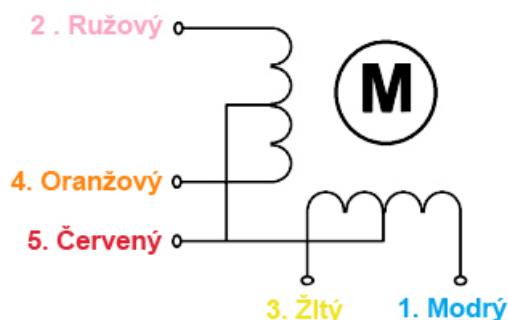
Na trhu sa vyskytuje veľký výber relé modulov delených podľa napätia a prúdovej zatažiteľnosti. Pre tento projekt bol vybraný osem kanálový relé modul disponujúci optickým oddelením, vhodný na silové ovládanie s galvanickým oddelením s LED signalizáciou. Výstupy relé sú dimenzované na 250 V AC 10 A alebo 30 V DC 10 A.



Obr. 2.14: 8-kanálový relé modul s optickým oddelením

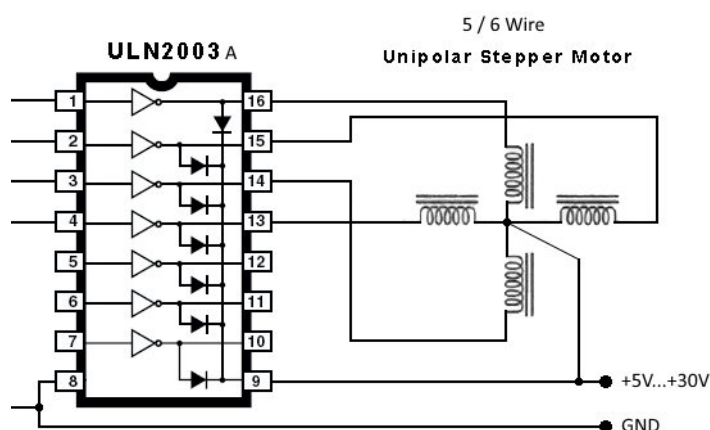
Krokový motor 28BYJ-48 s driverom ULN2003

28BYJ-48 je malý unipolárny krokový motor, ktorý sa vyznačuje veľkou silou i v kludnej polohe, taktiež disponuje takmer okamžitou odozvou pri zastavení alebo spúšťaní. Motor sa v skutočnosti dokáže pohybovať len 8 krokov na otáčku, no vďaka redukčnej prevodovke s pomerom 1/64 dokáže vytvoriť až 512 krokov na otáčku. Motor je napájaný piatimi voltami, zapojenie vytvára 4 fázy, frekvencia 100 Hz s krútiacim momentom 600 – 1200 gf.cm, jednosmerný odpor je $50\ \Omega \pm 7\%$.



Obr. 2.15: Krokový motor s driverom a schéma

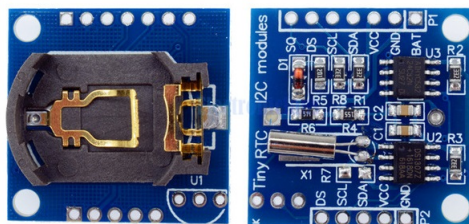
Ovládač krokového motora obsahuje tranzistorové pole ULN2003 s darlingtonovým zapojením tranzistorov s výstupom až 500 mA na kanál s ochrannou diódou proti prúdom pri indukčnej záťaži. Modul, ktorý umožňuje jednoducho ovládať krokový motor. LED indikujú ktorá cievka je práve napájaná. Výrazne sa doporučuje externé napájanie, pretože pri väčšej záťaži motora môžu prúdy vzrásť nad neschopnosť Arduino tieto prúdy zvládnuť a tým príde k zničeniu.



Obr. 2.16: Driver krokového motora a schéma [32]

Obvod reálneho času DS1307

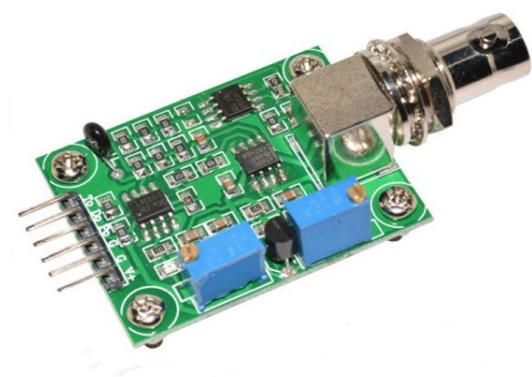
Obvod reálneho času od Tronixlabs umožňuje komunikáciu po zbernici I²C a je energeticky veľmi nenáročný. Pokiaľ je vložená i kvalitná batéria výrobca uvádza, že bez ďalšieho zdroja je modul schopný bežať 9 rokov. Disponuje detekciou prestupných rokov a presným kalendárom do roku 2100. Obvod obsahuje i 63 bajtovú pamäť RAM, posledných 8 bajtov je určených pre dátum a čas, zvyšok je možno použiť na vlastné údaje, napr.: info o letnom a zimnom čase, časová zóna alebo udalosť. Malou nevýhodou je, že oproti svojmu nástupcovi DS3231 má teplotne závislý oscilátor a hodiny sa môžu pomýliť až o päť minút v mesiaci.



Obr. 2.17: Modul RTC DS1307

Modul pre pH sondu PH-4502C

Modul pre pH sondu E201 slúži ako napäťový prevodník. Sonda meria pH v rozsahu 0 až 14 s presnosťou $\pm 0,5$. Sonda ale generuje napätie v rádoch milivolt, hraničné hodnoty má 2,5 mV pre pH 14, -2,5 mV pre pH 0 a pH 7 je 0 mV. Tieto hodnoty však Arduino nie je schopné čítať. Preto sa pomocou modulu prevedú tieto hodnoty na vyššie napäťové úrovne (-2,5 mV = 0 V, 0 mV = 2,5 V a 2,5 mV = 5 V). Na module sa nachádzajú dva trimre, jedným sa vykonáva napäťová kalibrácia a druhým je možné nastaviť úroveň zopnutia digitálneho výstupu.



Obr. 2.18: Modul pH

3 REALIZÁCIA SYSTÉMU

V kapitole Realizácia systému sú v jednotlivých kapitolách rozobraté jednotlivé časti systému vždy spolu z ich senzormi, aktormi a konštrukčným riešením. Následne je popísaná programová štruktúra riadenia systému, odosielanie a zobrazovanie dát.

3.1 Rezervoáre

Bolo potrebné vyriešiť zásobáreň kvapalín pre úpravu živného roztoku, taktiež samotnú nádobu pre živný roztok s dostatočnou kapacitou a systém merania zostávajúceho objemu a dávkovanie, zároveň tak aby sa dali vhodne konštrukčne namontovať na pestovateľský box.

Konštrukcia

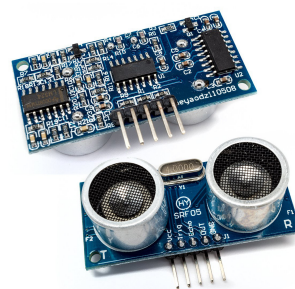
Nádrže pre uchovanie upravovacích roztokov nevyžadujú veľký objem, vyžadujú však chemickú odolnosť. Pre tento účel boli vybrané 4 odpadné trúbky HT s tvrdeného polypropylénu o priemere \varnothing 75 mm a dĺžke 500 mm o objeme približne 2 litre. HT trúbky sa využívajú na vnútorné systémy kanalizácie v priemysle, preto sa vyznačujú dobrou chemickou odolnosťou. Dno nádoby tvorí uzatváracie viečko s osadenou hadicovou koncovkou, ktorá slúži ako výstup pre systém dávkovania. Pre zmiešavacu nádobu na živný roztok bola vybraná odpadná rúra z PVC, ktorá sa tiež vyznačuje veľmi dobrou chemickou stálosťou o priemere \varnothing 160 mm a dĺžke 1100 mm s objemom 20 litrov, ktorej dno tvorí viečko s dvomi hadicovými koncovkami. Tento objem je požadovaný hlavne pre udržanie stability živného roztoku pri vzniku odpadných látok rastliny a taktiež pre dostatočné množstvo, nakoľko spotrebou rastliny a výparom dochádza k úbytku roztoku. Všetky nádoby sú opatrené silikónovými tesneniami a uchytené na bok boxu trubicovými objímkami. Na zmiešavacej nádobe sa nachádzajú pripojenia pre všetky vstupy: hnojivo A a B, pH plus a mínus, vstup vnútorného obehu pre okysličovanie a premiešavanie, vstup vonkajšieho obehu pre návrat roztoku od rastliny a výstupmi pre vnútorný i vonkajší obeh.

Meranie hladiny

Potrebnou súčasťou je získavanie výšky hladiny a tak zisťovať zostávajúci objem a v prípade poruchy identifikovať unikajúcu kvapalinu. K tomu bol vybraný ultrazvukový merač vzdialenosti HC-SR05 umiestnený v hornom oddeliteľnom viečku nádoby.

Merač vzdialenosti HC-SR05

Meranie vzdialenosti je založené na vysielaní ultrazvuku na frekvencii 40 kHz a prijímu odrazeného signálu. Rozsah merania je od 2 cm po 4,5 m s presnosťou okolo 0,3 cm. Princíp spočíva vyslaním pulzu o dĺžke 10 μ s do modulu na trigger pin, následne sa vyšle signál do priestoru, začne sa monitorovať vstup, po prijatí odrazenej vlny sa odošle signál do Arduina vid obr. 3.2, následne sa vypočíta vzdialenosť zo vzorca:

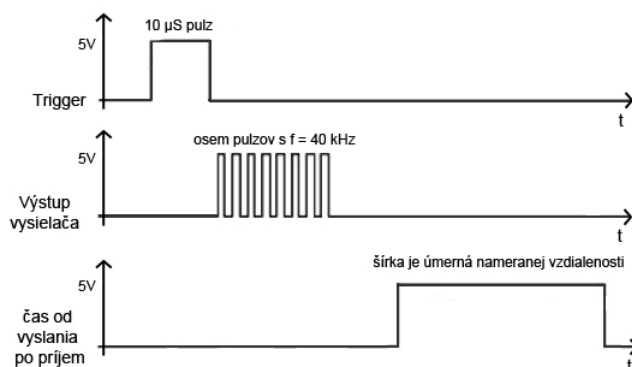


Obr. 3.1: Modul HC-SR05

$$\text{Vzdialenosť (cm)} = \frac{(\text{uplynulý čas} \times \text{rýchlosť zvuku (340 m/s)})}{10 \times 2}, \quad (3.1)$$

kde 10 je prevod z metrov na decimetre a následne sa delí dvomi, pretože senzor vracia hodnotu celkovú, teda dráhu vlny k prekážke a späť. Následne sa zo známeho priemeru (polomeru) a výšky nádoby a nameranej vzdialenosti hladiny od senzora (prepočítané na decimetre) dopočíta aktuálny objem v litroch podľa vzorca:

$$\text{Objem} = \pi r^2 \times (\text{výška nádoby} - \text{nameraná vzdialenosť}), \quad (3.2)$$



Obr. 3.2: Časový diagram signálov

Dávkovanie

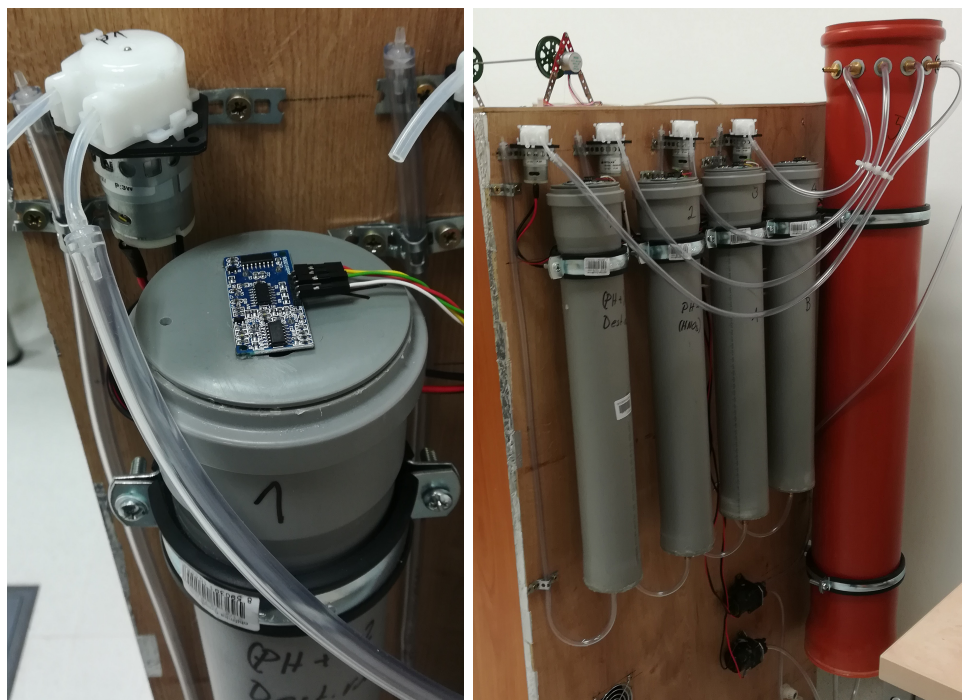
Správne dodané množstvá pH upravovačov alebo hnojiva zabezpečuje správne korigovanie hodnôt živného roztoku. Obyčajné obehové čerpadlá nedokážu dodať presné množstvo a problémom pri zostavovaní bolo, že po vypnutí napájania sa v čerpadle stratil tlak a časť kvapaliny vtekla späť do nádoby. Čím sa vytvárala medzera o neznámom objeme a tým pádom strata možnosti správne dávkovať. Preto čerpadlá nahradili peristaltické pumpy. Peristaltická pumpa na princípe pamäti materiálu, z ktorej je vyrobená striedavo stláčaná a uvoľňovaná flexibilná trubica čerpadla. Počas pomalého otáčania rotora dochádza k postupnej deformácii hadice, pričom sa v nej uzavrie malý objem kvapaliny, ktorý je potom pred lopatkou vytláčaný z hadice v smere jej rotácie. Za lopatkou vzniká podtlak, ktorý má za následok opätovné nasatie čerpanej kvapaliny. Výhodou je držanie tlaku v systéme i pri vypnutom napájaní a dochádza k zamedzeniu „cúvania“ kvapaliny v hadičke, čo zabezpečuje vždy presné dávkovanie. Množstvo dávky, ktorá má byť dodaná závisí od aktuálneho množstva roztoku a podľa veľkosti výchylky ale i od výrobcu a koncentrácie chemikálie. Upráva sa vykonáva i dva tri krát po sebe s časovým rozstupom, nakoľko chemikáliám trvá než sa celkovo rozpustia a premiešajú v roztoku.

Peristaltická pumpa INTLLAB

Pumpa od firmy INTLLAB model RS385 je malá účinná pumpa s napájacím napätím 12 V o výkone 3 W s tromi prítlačnými lopatkami. Liter vody prečerpá za 17 minút a 50 sekúnd. Na jeden mililiter potrebuje 1,07 s. Pri vzatí do úvahy reakčné časy Arduina a oneskorenie spínacieho modulu, tak pumpa je schopná dávkovať presne už od 5 ml.



Obr. 3.3: Peristaltická pumpa RS385



Obr. 3.4: Pohľad na konštrukciu rezervoárov (vpravo), detail merača hladiny a pumpy (vľavo)

3.2 Osvetlenie

Systém osvetlenie boxu je rozdelený na štyri časti: LED panely, LED záves, ovládanie výšky LED závesu a odrazivá fólia.

Led panely

Pre bočné osvetlenie boxu boli vyrobené 4 LED panely. RGB pásy sú nalepené na plastovom podklade s úchytkami na montáž. Pásy sú osadené čipom 3528, striedavo červená, zelená a modrá, každá samostatne. Hustota pásu je 60 diód na meter (tzn. 20 diód jednej farby na meter) s napájacím napätím 12 V. Parametre diód su uvedené v tabulke 3.1.

Tab. 3.1: Parametre diód osadených na led paneloch

	Vlnová dĺžka	Svietivosť	Uhol osvitu	Prúd	Napätie
	[nm]	[mcd]	[°]	[mA]	[V]
červená	625	355	120	20	1,9
zelená	520	550	120	20	3,2
modrá	470	400	120	20	3,1

Spolu je použitých 10 metrov pásu, čo zodpovedá 600 diódam (200 z každej farby) o celkovom výkone 32,8 W (červená = 7,8; zelená = 12,8; modrá = 12,4). Všetky panely sú rovnako konštruované a výkon jedného panelu je rovný jednej štvrtine celkového príkonu teda 8,2 W. Pre prepočet wattov na luxy zoberieme do úvahy, že panel osvetľuje rastlinu v polovici dĺžky podstavy teda 0,35 metra a to zoberieme i ako jednu stranu osvietenej plochy rastliny a druhá strana plochy bude teoretická výška rastliny v dospelom stave asi 60 cm (plocha $S = 0,35 \times 0,6 = 0,21 \text{ m}^2$) a priemerný merný svetelný tok LED je 100 lm/W a príkon jedného panelu pri plnom výkone je 8,2 W. Tak výsledný svetelný tok a následná intenzita svetla pri rastline jedného panela podľa vzorcov sú:

$$\phi = \eta \times P, \quad (3.3)$$

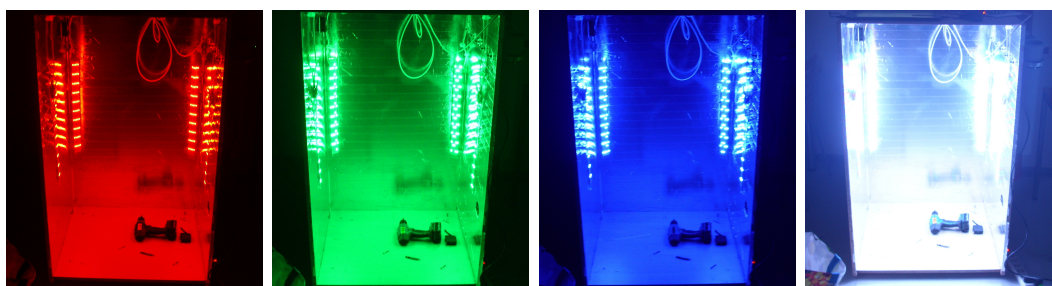
$$\phi = 100 \times 8,2 = 820 \text{ lm}, \quad (3.4)$$

kde ϕ (lm) je výsledný svetelný tok, η (lm/W) je merný svetelný tok a P je príkon jedného panelu. Intenzitu osvetlenia následne zo vzorca:

$$E = \phi/S, \quad (3.5)$$

$$E = 820/0,21 = 3904 \text{ lx}. \quad (3.6)$$

Teoreticky by mala byť rastlina osvetlená s každej strany intenzitou 3904 lx pri zapnutí všetkých diód. Panely sú ovládané pomocou PWM regulácie cez tri moduly IRF520 a tým je možné každej farbe individuálne riadiť výkon ale i pohodlne plynule stmievať.



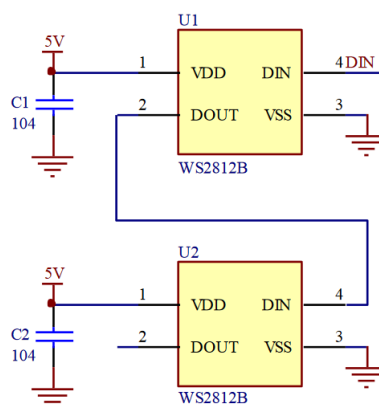
Obr. 3.5: LED panely v základných 4 farbách RGB a W

LED záves

Pre osvit rastliny z vrchu bolo potreba vyrobiť závesné posuvné svietidlo. Nakoľko sa pri pokusnom pestovaní bude používať kruhový kvetináč, prispôbilo sa tomu osvetlenie. Svietidlo má kruhový tvar so 4 sústredne uloženými kruhovými pásmi. Sú použité inteligentné LED diódy WS2812B.

WS2812B

WS2812B je inteligentná LED dióda, ktorá na čipe 5050 obsahuje, okrem troch samotných farieb, radič s pamäťou o veľkosti 3 bajty (24 bit). Každéj farbe je priradený jeden bajt pomocou, ktorých sa nastavuje intenzita jednotlivých farieb. Celá súčiastka obsahuje 4 vývody (VDD – napájanie 5 V, VSS – zem, DIN – digitálny vstup, DOUT - digitálny výstup) vid. obr 3.6. Vďaka digitálnemu výstupu je možné tieto súčiastky radiť sériovo za sebou. [33]



Obr. 3.6: Zapojenie WS2812B [33]

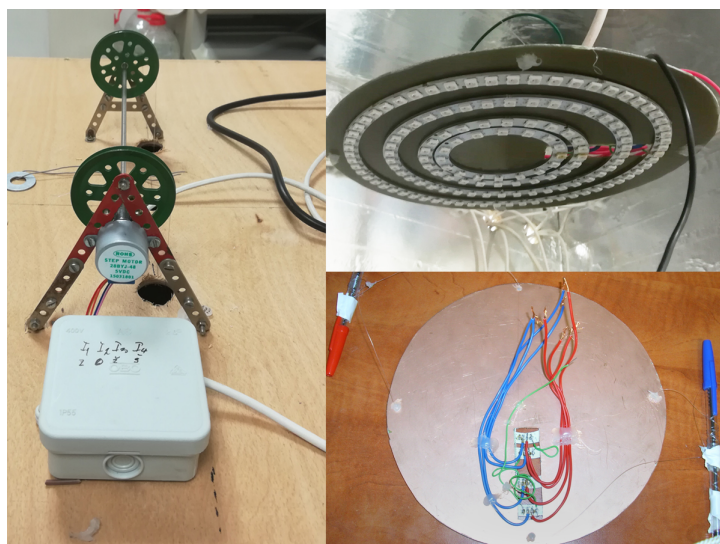
Tab. 3.2: Parametre WS2812B

	Vlnová dĺžka	Svietivosť	Uhol osvitu	Prúd	Napätie
	[nm]	[mcd]	[°]	[mA]	[V]
červená	620 – 625	420	120	20	2,2
zelená	522 – 525	720	120	20	3,4
modrá	465 – 467	200	120	20	3,4

Neopixel Ring WS2812B

Koncept svetelných kruhov vychádza z princípu samotnej WS2812B, riadiaca knižnica Neopixel definuje spôsob riadenia pomocou Arduina. Dáta sú vysielané s rýchlosťou 400 alebo 800 kb/s. Na začiatku odoslania dát je 50 μ s úroveň L čo je pokyn radiču pre príjem dát. Bity dát majú formu pulzov o dĺžke 1,25 μ s. Logická 1 je pulz na úrovni H o dĺžke 400 ns a pulz na úrovni L 850 ns. Logická 0 je 800 ns na H a 450 ns na L. Radič ktorý dostal pokyn na príjem dát prečíta prvých 24 bitov a uloží do pamäte. Zbytok po obnovení úrovne sa prepustí na výstup DOUT. Nové nastavenie farieb sú uložené v pamäti, zatiaľ LED svieti podľa predchádzajúcich dát. Nové nastavenie sa prejaví po prepnutí radiča na úroveň L dlhšou než 50 μ s s čakaním na nové dáta.

Osvetľovací záves je zložený zo 4 Neopixel kruhov uložených sústredne do seba a spolu 140 kusov WS2812B (tzn. 140 samostatných LED pre každú farbu tj. 420 samostatných LED spolu). Nalepené sú na kruhovej kuprexitovej doske a väčšiu časť dotykového povrchu kruhov a dosky vyplňa teplovodná pasta, ktorá prenáša prebytočné teplo na druhú stranu pokrytú medou slúžiacou ako plošný chladič. Výrobca kruhov udáva svetelný tok pri počte 140 ks približne 2400 lúmenov. Ak zoberiem do úvahy vrchný priemer kvetináča 40 cm, dostávame osvetlenú plochu 0,1256 m² s výsledkom intenzity osvetlenia zo vzdialenosti 20 cm približne 19 100 luxov. Ovládací záves je prototypovo zostrojený zo stavebnice Merkur, kde samotný kruh je zavesený na silónových lankách, ktoré sú omotané na kolieskach s drážkou, ktorých pohyb a teda výšku závesu ovláda krokový motor.



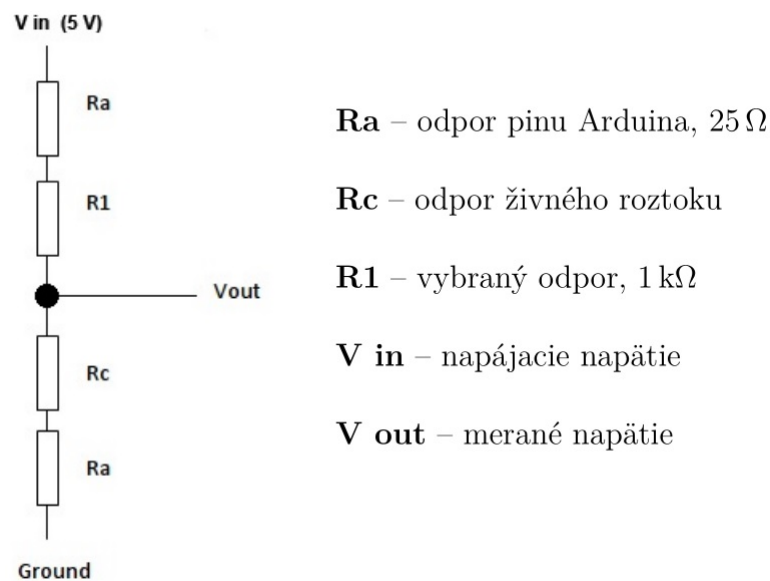
Obr. 3.7: Navíjacia časť (vľavo), osvetľovací kruh pohľad zo spodu (hore) a z vrchu (dole)

3.3 EC sonda

Pri návrhu a výbere EC sondy sa vyskytol problém s veľkou nedostupnosťou EC sond, ktoré by boli schopné komunikovať s Arduino, firma DFRrobot síce vyrába takúto sondu, ale cena sondy by extrémne predražila výrobu celého systému, nakoľko cena sa dnes pohybuje na úrovni 130 Euro. Preto bola vytvorená experimentálne vlastná sonda na základe článku z [34].

Potrebné súčiastky: teplomer DS18B20, $1\text{ k}\Omega$ rezistor, dvojkolíková elektrická zástrčka

Princípom je fakt, že EC je len prevrátená hodnota odporu, takže môžeme pomocou analógových pinov Arduina odpočítavať napätie a zo známych odporov v zapojení dopočítať odpor medzi dvomi kolíkmi (elektrodami) zástrčky ak poznáme veľkosť napájacieho napätie pinov Arduina (5 V). Rozdielom je meranie na základe jednosmerného prúdu oproti komerčným, ktoré využívajú striedavý prúd aby nedoriešali elektrolýzu a ionizáciu.



Obr. 3.8: Schéma princípu merania EC

Teplotná kompenzácia

Vodivosť kvapaliny je závislá od teploty, preto je potrebné ju kompenzovať, najčastejšie na normatívnu teplotu 25°C z čoho vzniká ekvivalentná kompenzovaná hodnota s označením EC25. Vzorec pre kompenzáciu:

$$EC25 = EC / (1 + a(T - 25)), \quad (3.7)$$

kde EC je meraná hodnota, T je teplota roztoku, $a = 0,019$ je všeobecný teplotný koeficient kvapalín.

Výpočet

Rc sa mení podľa hodnôt kvapaliny, preto je potreba stanoviť minimálne a maximálne hodnoty, ktoré sa budú očakávať, samozrejme treba uvažovať zmenu teploty a bunkovú konštantu elektród K, ktorú vytvárajú dva kolíky zástrčky (pre EU zástrčku pre spotrebiče triedy ochrany II je 2,62). Bunková konštanta K je pomer vzdialenosti medzi elektródami a plochou oblasti elektród. Slúži pre úpravu vodivosti, nakoľko reálna vodivosť je nameraná a podelená konštantou, pretože sa musí tiež brať do úvahy, že vodivosť sa merala len v mieste medzi elektródami. V tomto prípade pripadá do celej rovnice niekoľko premenných:

$$EC = EC25 \times (1 + a(T - 25)), \quad (3.8)$$

$$R = (1000 / (EC \times K)) + Ra, \quad (3.9)$$

Pre výpočet je ešte potreba stanoviť minimálne a maximálne očakávané hodnoty teploty a EC25. V tomto prípade boli stanovené: $t_{min} = 0^\circ\text{C}$, $t_{max} = 40^\circ\text{C}$, $EC25_{min} = 0,1 \text{ mS}$, $EC25_{max} = 4 \text{ mS}$, pre výpočet minima sa dosadzujú minimálne hodnoty a pre maximum opačne z toho vyplýva:

$$EC_{min} = 0,1 \times (1 + 0,019(0 - 25)), \quad (3.10)$$

$$EC_{min} = 0,0525, \quad (3.11)$$

$$EC_{max} = 4 \times (1 + 0,019(40 - 25)), \quad (3.12)$$

$$EC_{max} = 5,14, \quad (3.13)$$

Pri výpočte minimálneho odporu je ale potreba použiť maximálne EC a naopak.

$$Rc_{min} = (1000/(5,14 \times 2,62)) + 25, \quad (3.14)$$

$$Rc_{min} = 99,27 \Omega, \quad (3.15)$$

$$Rc_{max} = (1000/(0,0525 \times 2,62)) + 25, \quad (3.16)$$

$$Rc_{max} = 7295,1 \Omega, \quad (3.17)$$

Ak poznáme minimálny a maximálny odpor, je možné dopočítať minimálne a maximálne napätie, ktoré bude odčítané na Arduino, ale pozor treba do toho započítať i odpor vstupného pinu. Vzorec je klasický obyčajný delič napätia, kde pomocou celkového odporu zistíme prúd, a následne čiastkové napätie na vybranom odpore, v tomto prípade $Rc_{min} + Ra$ a $Rc_{max} + Ra$

$$U_{out_{min}} = \frac{U_{in}}{R} \times (Rc_{min} + Ra), \quad (3.18)$$

$$U_{out_{min}} = 0,54 V, \quad (3.19)$$

$$U_{out_{max}} = \frac{U_{in}}{R} \times (Rc_{max} + Ra), \quad (3.20)$$

$$U_{out_{max}} = 4,385 V, \quad (3.21)$$

Ak poznáme všetky tieto hodnoty ako posledné je možné dopočítať rozlíšenie s akým bude EC merané za pomoci rozdielu minima a maxima EC a prislúchajúceho napätia a vynásobené rozlíšením samotného AD prevodníka Arduina, ktorý pracuje s max. 5 voltami a 10 bitovým registrom.

$$\text{Rozlíšenie} = \frac{EC_{max} - EC_{min}}{U_{out_{max}} - U_{out_{min}}} \times \frac{5}{1024} \quad (3.22)$$

$$\text{Rozlíšenie} = \frac{3,9}{3,845} \times \frac{5}{1024} \quad (3.23)$$

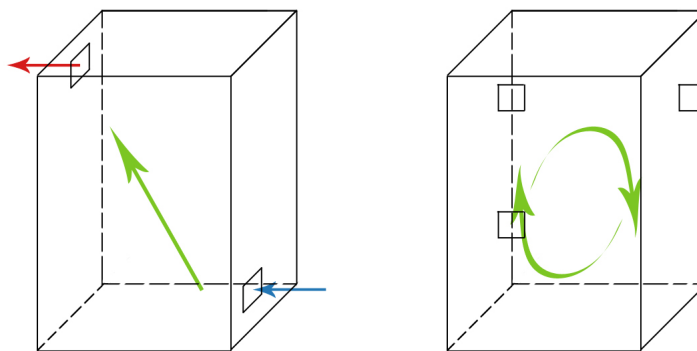
$$\text{Rozlíšenie} = 0,005. \quad (3.24)$$

3.4 Ventilácia a chladenie

Pre dodávanie dostatku vzdušného kyslíka, oxidu uhličitého a zároveň regulácia teploty a vlhkosti vzduchu bola vytvorená ventilácia pozostávajúca z niekoľkých častí, zároveň je potreba v prípade potreby prehriať vzduch pri nestíhaní ventilácie dochladiť chladiacim systémom. Nestíhanie ventilácie môže zapríčiniť i takmer vyrovnané teploty v boxe a mimo boxu, ale dokonca vyššie, čím sa stáva chladenie výmenou vzduchu nefunkčným.

Ventilácia

Ventilácia je rozdelená do troch častí, nasávacia, vysávacia a obehová. Nasávací ventilátor je umiestnený v pravom dolnom rohu pri dverách a zaobstaráva nasávanie čerstvého vzduchu. Vysávací ventilátor je schválne umiestnený do kríža v hornom ľavom kúte pri zadnej stene, čo zabezpečuje odťah teplejšieho vzduchu od stropu boxu a zároveň toto usporiadanie zabezpečuje, že nasávaný vzduch musí prejsť okolo rastliny aby sa dostal k výstupu. Obehovú časť tvoria tri ventilátory umiestnené v rohoch zadnej steny. Slúžia na stále premiešavanie vzduchu a tým rovnomerné rozloženie teplôt vzduchu a zároveň vytvárajú stabilný kmit rastliny, čo priaznivo pôsobí na hrúbku základnej stonky a jemný kmit listov zabraňuje uchyteniu spórov húb a plesní.



Obr. 3.9: Nasávanie a vysávanie vzduchu (vpravo), vnútorný obeh (vľavo)

Ventilátory musia mať určité predimenzovanie (doporučuje sa minimálne 20 násobok objemu), nádoba má objem 588 litrov, použitý ventilátor má prietok 79 metrov kubických za hodinu, čo prepočte teoreticky znamená schopnosť vymeniť vzduch v boxe 134 krát za hodinu. Pre nasávanie a vysávanie bol použitý rovnaký ventilátor s parametrami uvedenými v tabuľke 3.3.

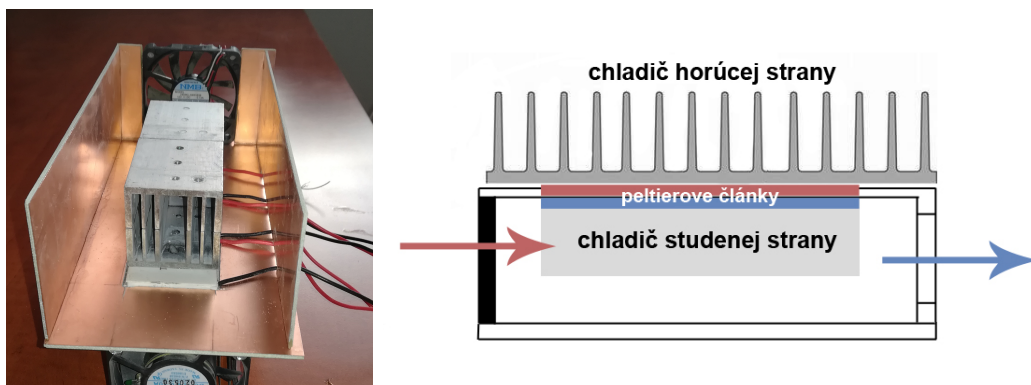
Tab. 3.3: Parametre nasávacieho a vysávacieho ventilátoru

Model	ebmpapst 8412NH
Rozmery	80 x 80 x 25 mm
Napájanie	12 V DC
Výkon	2,2 W
Rýchlosť	3600 ot/min
Hluk	37 dBA
Prietok vzduchu	79 m ³ /h

Pre vnútorný obeh sa používajú obyčajné ventilátory zo základných dosiek PC, u ktorých nie je až taká nutná znalosť veľkosti vzduchového prietoku za hodinu, nakoľko len zabezpečujú dodatočné premiešavanie a jemný kmit rastliny.

Chladienie

Chladienie bolo postavené na báze prietokového chladiča pomocou troch Peltierových článkov TEC-12705 [35] napájacím napätím 12 V s max. prúdom 5 A s maximálnym teplotným rozdielom strán 75°C. Peltierov článok je elektronický stavebný prvok, ktorý pri pretekání elektrického prúdu vyvinie rozdielne teploty na stykových plochách dvoch vodičov (jedna plocha sa schladí a druhá sa hreje, tzv. Peltierov jav), alebo opačne, pri dodaní rozdielnych teplôt vzniká elektrický prúd (tzv. Seebeckov jav) [36]. Prietokový chladič je skonštruovaný z kuprexitových dosiek o rozmeroch 60 x 100 x 200 mm s objemom 1,2 litra. na ktorých je nalepený polystyrén ako izolačný materiál, na chladnej časti Peltierových článkov je pomocou teplovodivej pasty prilepený chladič cez ktorý bude pretekať vzduch hnaný ventilátorom. Nasávaný vzduch je braný mimo boxu a tlačný ventilátorom s prietokom vzduchu 32,3 m³/h, čím je zároveň podporená výmena vzduchu.



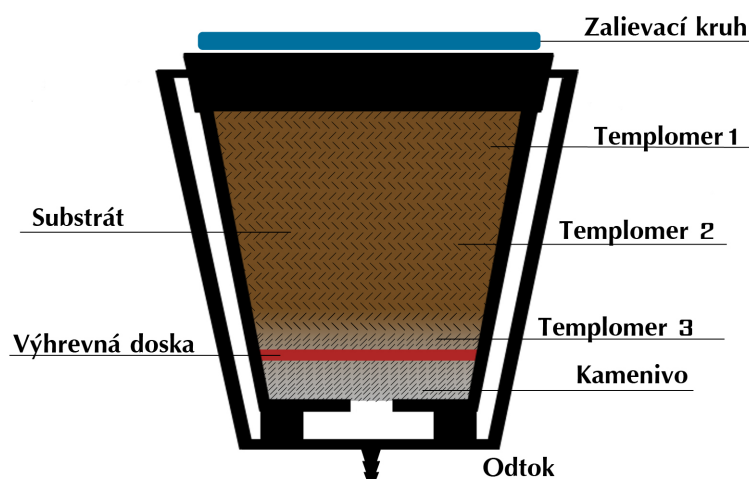
Obr. 3.10: Otvorený prietokový chladič (vľavo), schéma chladiča (vpravo)

3.5 Pestovateľská nádoba a súčasti

Samotný pestovateľský substrát je uložený v pestovateľskej nádobe, do ktorej okrem substrátu je vložený systém ohrevu, zavlažovania a merania teploty.

Pestovateľská nádoba

Nádoba je vyrobená z čierneho nepriehľadného plastu pre ochranu koreňov pred priamym svetlom z dvoch častí, vnútornej a vonkajšej. Vo vnútornej časti perforovaný kvetináč o objeme 12 litrov na podložkách aby vznikol medzipriestor pre odtok živného roztoku, kde je umiestnený substrát, ohrev a teplomery, vonkajšia časť slúži pre zber a odvod prebytočného živného roztoku. Celá nádoba je položená na vyvýšenom podstavci aby bolo možné pripojiť odsávaciu časť zavlažovania.



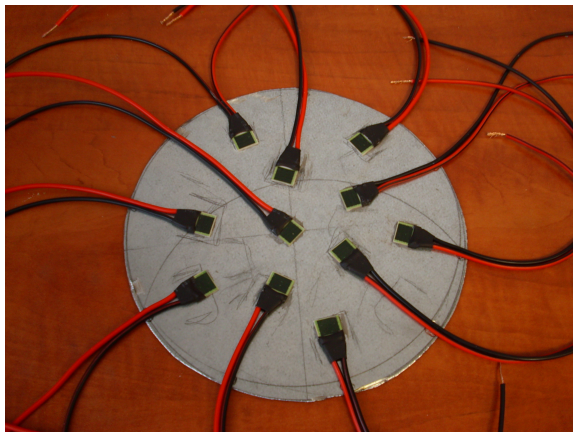
Obr. 3.11: Prierez pestovateľskou nádobou

Meranie teploty a ohrev

V substráte je potreba kontrolovať teplotu, aby nepresiahla stanovené medze a zároveň kontrolovať stav teploty výhrevnej dosky. Do substrátu sú vložené v troch úrovniach rovnomerne teplomery DS18B20, ktoré zabezpečujú prehľad o teplotných vrstvách substrátu. Na spodok vnútornej nádoby je umiestnené kamenivo, na ktorom je položená výhrevná doska a znova zahrnutá vrstvou kameniva. Kameň slúži ako nehorľavá ochrana substrátu pred vzplanutím v prípade poruchy a zároveň ako akumulačný prvok pre rovnomerné rozprestrenie tepla.

Výhrevná doska

Výhrevná doska zabezpečuje ohrev substrátu, a tým podporuje rast. Doska je zložená z dvoch kruhových plechových dosiek o priemere 22 cm s nerezovou úpravou, vo vnútri dosky je 11 osadených ohrevných článkov GBR618 [37] napájané 12 V každý o výkone 5 W s max. teplotou 300°C. Spoločný výkon je 55 W pri 12 V a splňa tým podmienky ochrany malým napätím a je to výrobok so zníženým rizikom požiaru nakoľko nepresiahne výkon 70 W. Doska je stále v mokrom prostredí a je ochránená silikónovým tesnením. Výkon a teplota je riadená pomocou PWM.



Obr. 3.12: Konštrukcia dosky

Zavlažovanie a okysličovanie

Systém dodávky živného roztoku sa skladá z dvoch častí, prvá časť slúžiaca pre dodávku odvádza zo zmiešavacej časti pomocou čerpadla živný roztok do zalievacieho kruhu, ktorý je pomocou plastových ihlíc upevnený v substráte. Zalievací kruh slúži pre rovnomerné rozloženie závlahy do substrátu a so svojím špecifickým usporiadaním a veľkosťou vývodových dier reguluje rýchlosť a množstvo roztoku. Druhú časť tvorí odvod nahromadeného prebytočného roztoku späť do zmiešavacej nádoby druhým čerpadlom.

Okysličovanie roztoku sa uskutočňuje v zmiešavacej nádobe pomocou vnútorného okruhu, kde čerpadlo prečerpáva roztok dookola a dopadá z výšky na hladinu, čím sa zachytáva vzdušný kyslík v roztoku, zároveň vnútorný okruh má na starosti premiešavanie roztoku pri úpravách roztoku.

Substrát

Pre pestovanie bol vybraný substrát Mapito. Mapito pozostáva z drtenej minerálnej vlny a polyuretánových vločiek, vďaka tejto zmesi má ideálne pevnú štruktúru a schopnosť zadržiavať optimálne množstvo vody a kyslíku. Pre začatím pestovania je potrebné substrát prepláchnuť pre zníženie hodnoty EC. Následne je potrebné vykonať tzv. maximalizáciu nasiakavosti alebo inak maximalizácia kapilárnej činnosti, čo spočíva ponechanie Mapita 24 hodín namáčať vo vode aby sa kompletne nasiakol vodou a póry naplnené vzduchom nahradila voda a nedochádzalo k efektu suchej hliny, kedy voda pri vysušenom roztoku z dôvodu povrchového odporu stečie preč.

3.6 Schéma zapojenia

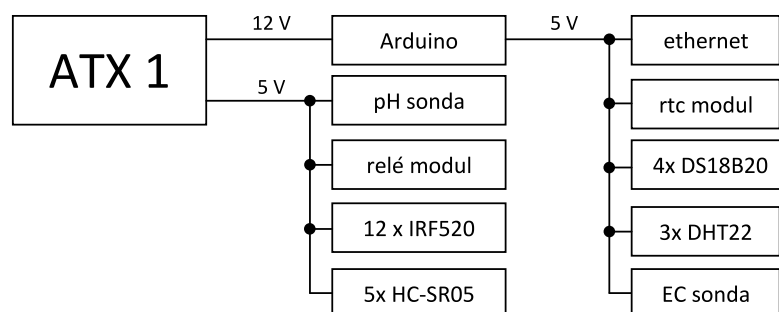
Zapojenie sa delí na dva celky, časť napájania a časť ovládaciú, ktorá znázorňuje vzájomne vzťahy medzi jednotlivými prvkami.

3.6.1 Napájacia časť

Napájanie je rozdelené na tri časti, tak aby sa minimalizovali rušenia dátových liniek spínaním čerpadiel, púmp, relé a ďalšími a zároveň rozdeliť výkonovú záťaž rovnomerne medzi zdroje. Na napájanie sa využívajú počítačové stabilizované zdroje typu ATX. Snahou bolo využívať čo najmenej úrovní napájacieho napätia a tak boli vyberané komponenty napájané 5 alebo 12 voltami.

ATX1

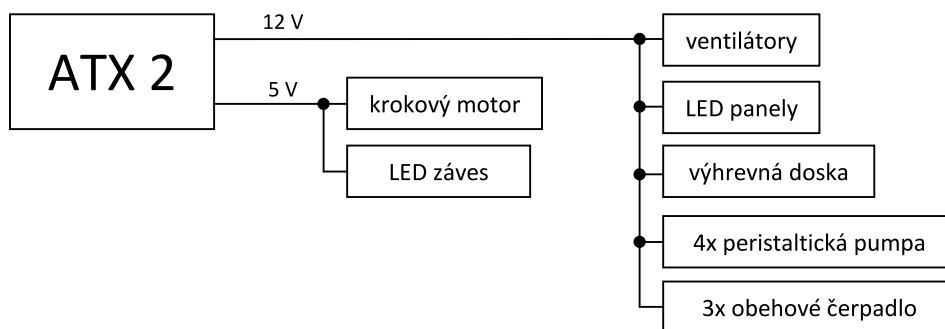
Prvý ATX zdroj obsluhuje napájanie Arduina, všetky senzory a sondy, moduly a shieldy, ktoré majú minimálny odber ale sú citlivé na spínané procesy a môže dochádzať k rušeniu ich dátovej linky a preto je potreba aby mali i vyrovnané potenciály s Arduinom spoločnou zemou a oddelené od napájania výkonových častí systému.



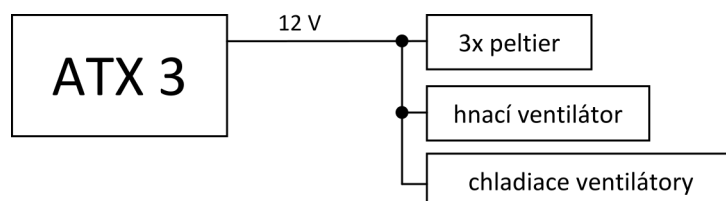
Obr. 3.13: Schéma zapojenia ATX1

ATX2,ATX3

Druhý zdroj ATX2 napája všetky výkonové časti systému, okrem chladiaceho systému, ktoré pri svojom behu vyžadujú pri svojej činnosti väčšie prúdy než moduly Arduina a pri ich riadení môžu vzniknúť prechodové deje. O napájanie chladiaceho systému sa stará samostatný zdroj ATX3 z dôvodu vysokého odberu prúdu na 12 voltovej vetve zdroja. Tri Peltierové články pri nábehu odoberajú spolu 15 A so spoločným výkonom 180 W, čo tvorí výraznú záťaž na zdroj.



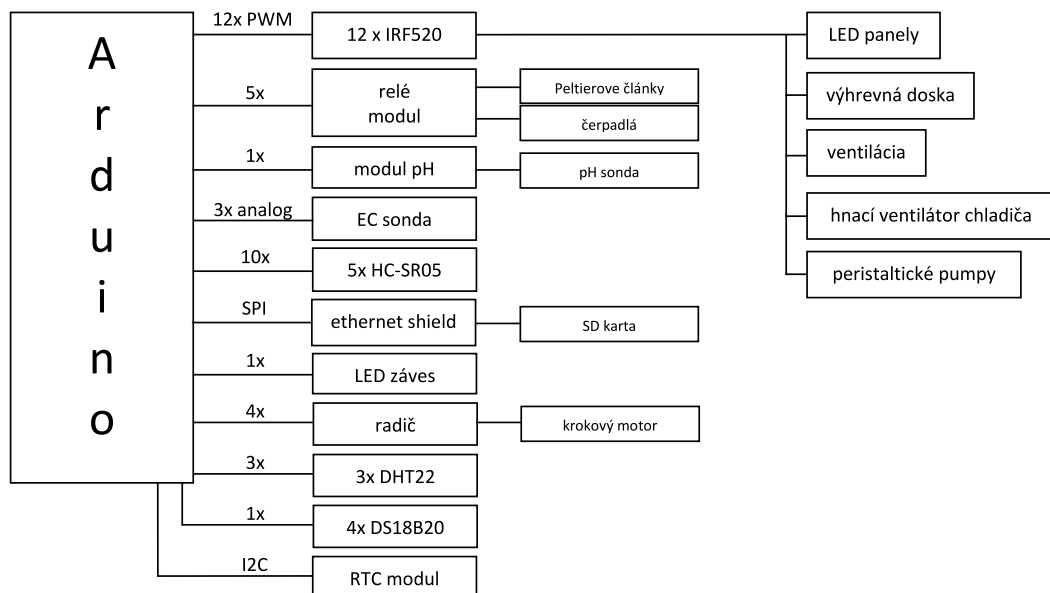
Obr. 3.14: Schéma zapojenia ATX2



Obr. 3.15: Schéma zapojenia ATX3

3.6.2 Ovládacia časť

Schéma ovládacej časti zobrazuje vzájomné prepojenia mikrokontroléra, ovládacích častí s ovládanými komponentmi, senzorov a sond. Popisy zobrazujú koľko počet pinov dané časti vyžadujú, poprípade aké zbernice využívajú.



Obr. 3.16: Schéma zapojenia ovládacej časti

3.7 Programová časť

Programová stránka systému je rozdelená na niekoľko častí, čo zahŕňa rastovú tabuľku, získavanie dát, riadenie na základe dát, odosielenie a ukladanie dát.

Rastová tabuľka

Rastová tabuľka je jedinečná pre každý typ rastliny, jej hlavnou osou je doba pestovania rozdelená na úseky a zobrazuje požadované hodnoty rastových faktorov v daných úsekoch. Tabuľka by vždy mala obsahovať minimálne teplotu a vlhkosť vzduchu, maximálne a minimálne hodnoty pH a EC, pomer dávkovania hnojív A a B, fotoperiodu a prevládajúcu zložku spektra. Špecifická rastová tabuľka pre vybranú pestovanú rastlinu je v prílohe A.2. Podľa tejto tabuľky sa riadi i samotný program, v ktorom sa rastová tabuľka zadáva na začiatku pestovania.

Premenné a konštanty

Táto časť programu, obsahuje inicializáciu použitých knižníc, konštanty pre rastovú tabuľku, premenné a ich deklaráciu a poprípadne inicializáciu, priradenie čísel pinov pre dané zariadenie, priradenie adres teplomerom Dallas, deklaráciu tried a inšancií.

Setup

Programová časť Setup, ktorá prebieha vždy len raz pri štarte mikrokontroléra a je rozdelená na dve podčasti inicializáciu a načítanie prvých dát.

Inicializácia

V časti inicializácie programových prostriedkov sa inicializuje sériové komunikačné rozhranie pre komunikáciu s konzolou vo vývojovom prostredí, inicializácia módu pinov s určením typu (vstupný, výstupný), inicializácia zariadení pomocou ich tried, nastavenie rozlíšenia teplomerov Dallas.

Štart dáta

Štart dáta slúžia pre funkčnosť systému hneď po štarte, ide o získanie potrebných dát aby systém mohol hneď začať pracovať resp. reagovať na zmeny po neplánovanom reštarte. Sú to dáta ako: teploty vzduchu, roztoku, substrátu, EC a pH, hladiny v nádobách, fáza rastu (resp. deň) a načítanie adekvátnych hodnôt z rastovej tabuľky a nastavenie výšky LED závesu podľa fázy rastu.

Funkcie

Časť funkcie obsahuje všetky funkcie potrebné pre beh systému. Sú rozdelené do logických celkov podľa činnosti, ktorú vykonávajú na funkcie ovládacie (CONTROL), funkcie získavacie (GET) a funkcie nastavovacie (SET) a funkcie pre časovanie, ukladanie a odosielanie dát.

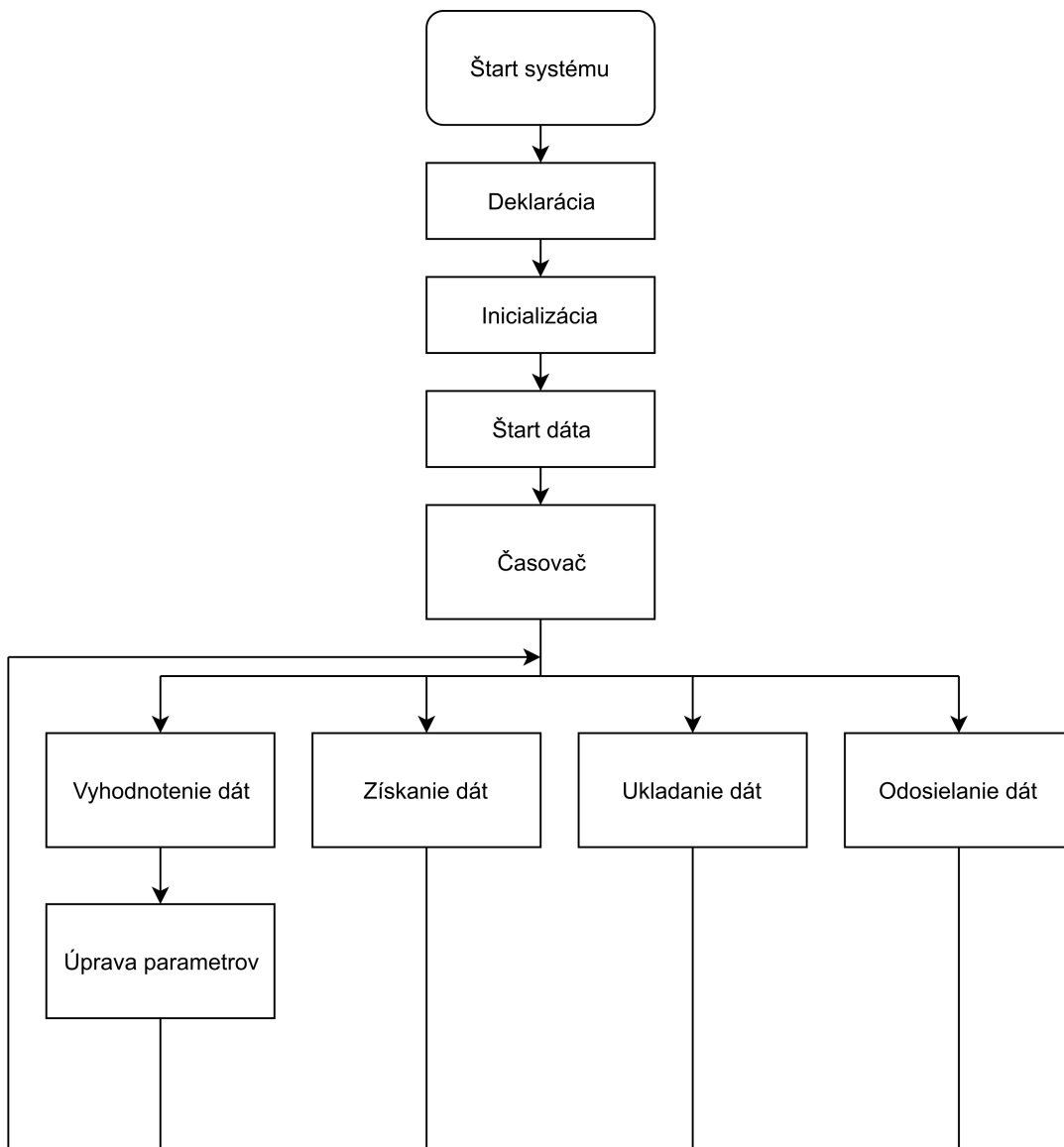
Získavacie funkcie slúžia pre získanie dát veličín, ktoré potrebujú prepočet a neposkytuje ich priamo funkcia danej knižnice. A to napríklad pre EC vlastná funkcia `getEC` , pre pH `getPH`, pre objem v nádržiach `getVolume` a `getVolume2`.

Nastavovacie funkcie sa nepoužívajú tak často ako kontrolné a závisia zväčša na rastovej tabuľke, ktorá sa mení len po dlhšom čase, su to funkcie pre nastavenie výšky závesu, funkcia rastových parametrov si berie údaje z rastovej tabuľky, nastavenie dávkovania, farby svetla.

Ovládacie alebo inak kontrolné funkcie sú funkcie, ktoré sa vykonávajú častejšie a odvíjajú sa od aktuálnej situácie v systéme ako ovládanie vyhrievania, chladenia, úprava pH a EC.

Funkcia pre časovanie je riadená RTC modulom, má na starosti vykonávanie funkcií vždy len keď je to potreba resp. v časových rozostupoch, nie je potreba získavať teplotu každú sekundu alebo nastavovať spektrum svetiel každú polhodinu, ale zároveň slúži pre riadenie dňa a noci, odosielanie dát do cloudu a ukladanie počtu dní.

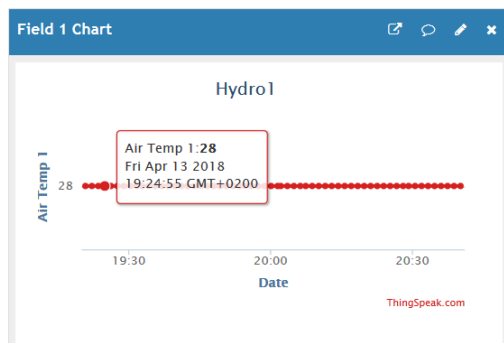
Funkcia pre ukladanie dát má na starosti periodicky ukladať dáta na SD kartu pre ich neskoršiu štatistickú analýzu, periodicita je ale oveľa nižšia než u odosielania dát. Funkcia pre odosielanie dát má na starosti odosielať dáta do cloudu, odkiaľ sú následne brané mobilnou aplikáciou. Tieto dáta sú odosielané častejšie pre možnosť real – time sledovania systému.



Obr. 3.17: Zjednodušený vývojový diagram

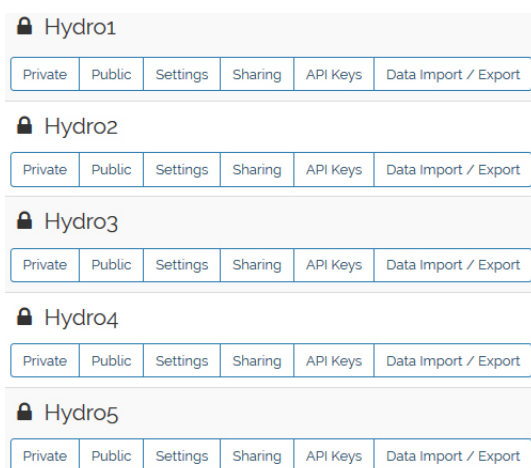
3.7.1 Odosielanie dát

Potrebné informačné dáta sú odosielané do cloudu ThingSpeak. ThingSpeak je open source IoT aplikácia a rozhranie API na ukladanie a čítanie dát pomocou HTTP protokolu. Pomocou neho je možné dostať dáta online, bez potreby vlastného servera s databázou a verejnou IP adresou. ThingSpeak má integrovanú podporu matematického výpočtového softvéru MATLAB, čo umožňuje analyzovať a vizualizovať nahrané dáta pomocou Matlabu bez vlastnej licencie od Mathworks vid obr. 3.18.



Obr. 3.18: Vizualizácia dát

Dáta sú odosielané do tzv. kanálov (channel), kde každý kanál sa delí na osem samostatných polí (fields). Nahrávanie dát sa vykonáva pomocou HTTP metódy POST alebo GET. V bezplatnej verzii môže byť jeden kanál aktualizovaný raz za 15 sekúnd, dáta sú zálohované na jeden rok, na jeden účet je možné vytvoriť 99 kanálov po 8 polí, čo je spolu 792 možných typov dát, čas čítania je každé 2 sekundy. Pre export dát pre iné účely je možné použiť tri formáty: JSON, XML, CSV. Pre potreby systému ukladať potrebný počet dát je vytvorených 5 kanálov, čo je spolu 40 polí.



Obr. 3.19: Kanály

Prístup k danému kanálu zabezpečuje atribút v adrese tj. originálne identifikačné číslo kanála (channel ID). Nahrávanie alebo čítanie sa rozlišuje pomocou atribútu kľúča API (API KEY), ten sa delí na dva typy WAPI (Write API) a RAPI (Read API). Write API je súkromný a slúži pre nahrávanie dát. Read API je verejný a pomocou neho je možné cez HTTP protokol prijímať posledné aktuálne uložené dáta. Pre každý kanál tak ako ID kanála, tak i kľúče sú vždy unikátne.

Write API Key

Key

QIIA *****

Generate New Write API Key

Read API Keys

Key

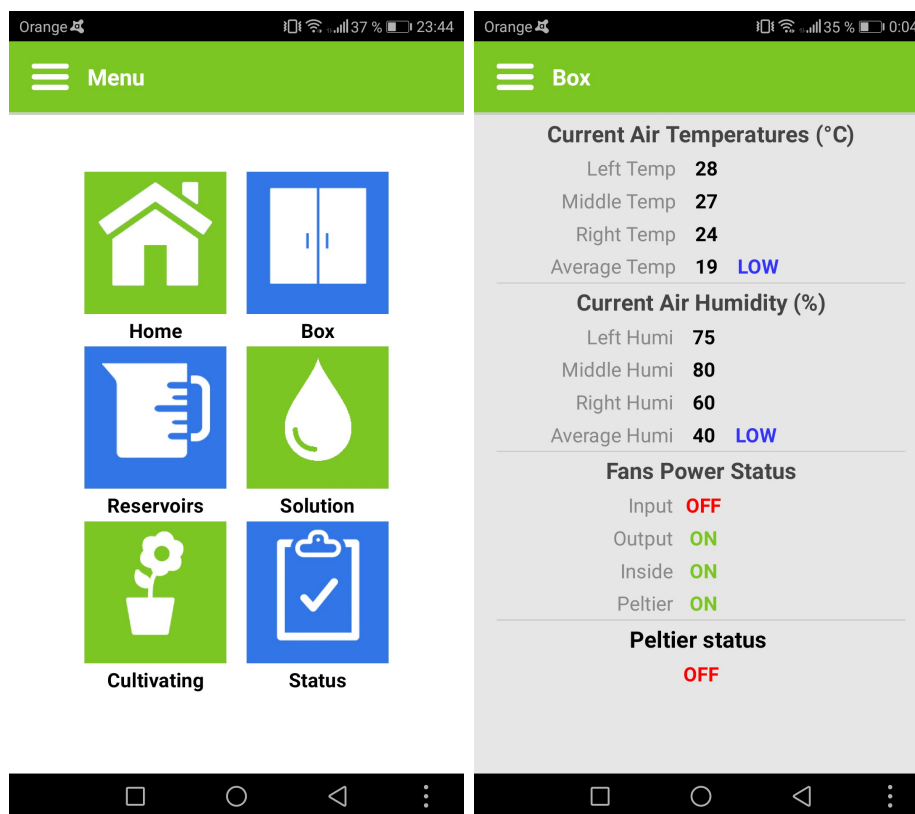
4RJL83BQDYP1KRJS

Obr. 3.20: WAPI a RAPI KEYS

3.7.2 Zobrazovanie dát

Pre rýchle a prehľadné zobrazovanie posledne nahraných dát bola vytvorená jednoduchá mobilná aplikácia na kontrolu hodnôt s názvom Hydro. Vytvorená bola pomocou webovej aplikácie MIT App Inventor 2, čo je open source aplikácia vyvinutá spoločnosťou Google a dnes ju spravuje Massachusetts Institute of Technology (MIT). Za pomoci tejto aplikácie sa dajú vytvárať mobilné aplikácie začiatočníkmi v tvorbe mobilných aplikácií. Využíva sa pri tom spôsob aktívneho učenia, nakoľko v programe sa píše minimum kódu a aplikácia je tvorená prevažne graficky a kódová časť je tvorená pomocou „drag and drop / puzzle systému“.

Hydro je rozdelená do logických celkov so zobrazovaním dôležitých údajov. Aplikácia zatiaľ neobsahuje žiadne obslužné prvky pre riadenie systému na diaľku. Ide o prvú testovaciu verziu, kde sa testuje hlavne zobrazovanie dát a upozornenia na ich výchyľky nad alebo pod dovolené hranice, nakoľko ide o automatický systém pestovania. Na získavanie dát z Thingspeak-u sa využíva HTTP protokol a metóda GET. Dáta sú ukladané do premenných a následne zobrazované. V obrázku 3.21 vpravo sa nachádzajú testovacie dáta pre overenie funkčnosti aplikácie.



Obr. 3.21: Menu aplikácia (vľavo), náhľad na prvú záložku (vpravo)

3.8 Test a hodnotenie

V sekcii testovanie sú popísané testované časti systému, ako sa správajú po spustení a či spĺňajú účel pre ktorý boli navrhnuté a vytvorené.

3.8.1 Kalibrácia pH

Pred začatím merania bolo potrebné vykonať kalibráciu na dvoch úrovniach, na úrovni modulu a úrovni programu.

Modul

Modul pri pH 7 má mať na výstupe napätie 2,5 V čo odpovedá nulovému napätiu na vstupe smerom od sondy. Preto sa dočasne skratuje BNC konektor, čo simuluje 0 V na vstupe a trimrom sa nastaví hodnota 2,5 V na výstupe pomocou voltmetra. Táto hodnota sa nepodarila stanoviť presne, nakoľko trimer je veľmi necitlivý a zostala nastavená na hodnote 2,52 V.

Program

Arduino sníma napätie na analógovom vstupe a prevádza ho do digitálnej podoby pomocou AD prevodníka. Tu sa vyskytol problém, na výstupe modulu bolo 2,52 V a tak ukazoval i voltmeter, avšak Arduino ukazovalo hodnotu 2,683 V po prepočte. Je to spôsobené vysokou impedanciou výstupu modulu a tak prevodník číta zlú hodnotu. Dá sa to riešiť buď pridaním kondenzátora paralelne medzi vstupný pin a zem Arduina alebo zohľadnením tejto odchýlky pri prepočtoch v programe, nakoľko presne táto odchýlka 0,163 V sa udržiavala v celej šírke merania.

Pre kalibráciu sa využívajú tzv. puffre. Je to chemický roztok s presne určenou hodnotou pH. Kalibrácia sa vykonávala dvojbodovo, teda pomocou dvoch puffrov o hodnote 4 a 7, nakoľko nie je potreba zakalibrovať horné hodnoty nad pH 7, rastlina totiž vyžaduje kyslejšie prostredie, tie môžu zostať orientačné. V prvom rade bolo potreba zistiť dodávané napätia pri oboch roztokoch. Pre pH 7 to bola hodnota odčítaná na Arduine 2,48 V čo odpovedalo napätiu 2,317 V na voltmetri, tu je vidieť že i keď bol modul zakalibrovaný, puffer o hodnote 7 nedodával po prevode napätia v module presne 2,5 V, čo je spôsobené samotným typom roztoku ale i určitými nepresnosťami spôsobenými modulom. Pre puffer o hodnote pH 4 bolo odčítané napätie na Arduine 3,2 V.

Pre výpočet hodnoty pH po kalibrácii je potreba vedieť tzv. krok, čo je pomer medzi rozdielom napätí a rozdielom ich prislúchajúcej hodnote pH.

$$Krok = \frac{U_{pH7} - U_{pH4}}{pH7 - pH4}, \quad (3.25)$$

$$Krok = \frac{2,48 - 3,2}{3}, \quad (3.26)$$

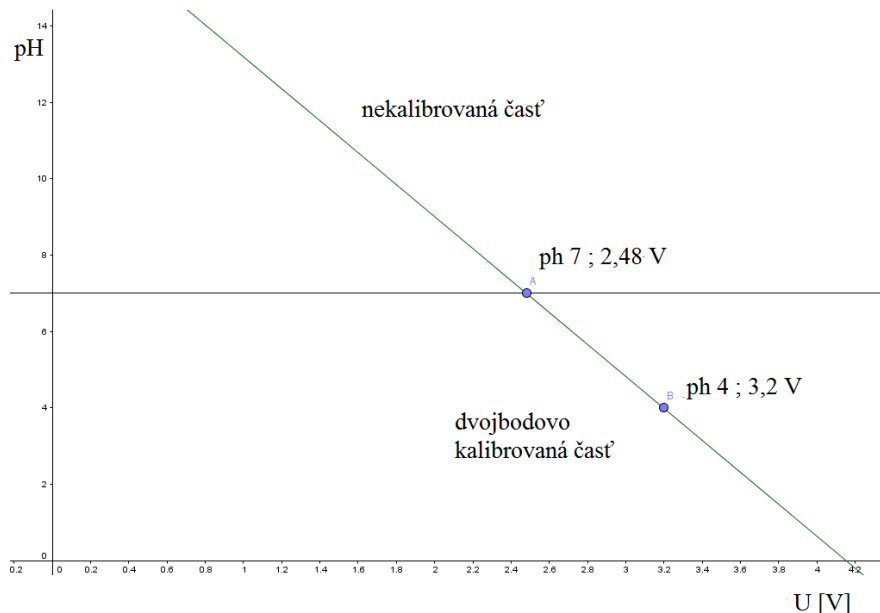
$$Krok = 0,24. \quad (3.27)$$

Následne pre samotný výpočet pH je vzorec nasledovný:

$$pH = pH7 + ((U_{ref} - U_{mer})/krok), \quad (3.28)$$

$$pH = 6,837 + ((2,52 - U_{mer})/0,24), \quad (3.29)$$

kde U_{ref} je referenčné napätie pre pH 7 na výstupe, pH 7 v tomto prípade nie je presná hodnota 7 ale je ponížená o rozdiel referenčného napätia na výstupe modulu a odčítaného napätia na Arduine, aby do rovnice boli vkladane namerané hodnoty. Po dosadení do vzorca pre puffer 7 je napätie na Arduine 2,48 V. Výsledok je 7,004. Pre pH 4 bola nameraná hodnota 3,2 V čo po výpočte zodpovedalo 4,004. Pre kontrolu sa meranie odskúšalo i v puffri s hodnotou 5, kde namerané napätie bolo 2,97 V, po dosadení do vzorca vyšiel výsledok pH 4,962 čo tvorí rozdiel 0,038, čo je stále v rozmedzí odchýlky, ktorú spôsobuje sonda.



Obr. 3.22: Závislosť pH na napätí po kalibrácii

3.8.2 Kalibrácia EC

Kalibrácia EC bola jednoduchšia a využil sa len kontrolný roztok o hodnote 1,413 mS/cm. Keďže sa vychádzalo už z uvedených vzorcov, bolo potreba len spresniť hodnotu bunkovej konštanty pre danú zástrčku. Kalibrácia je automatizovaná pomocou kalibračného programu vid prílohy B.1, B.2, ktorý 10 krát za sebou z časovým rozstupom odmeria napätie na vstupe, dopočíta priemerný odpor roztoku, a dosadí do vzorca:

$$K = 1000 / (R_c \times EC \text{ kalibračné}). \quad (3.30)$$

Kalibračný program vyhodnotil upravenú K konštantu na 2,18 oproti 2,62, ktorá je určená všeobecne pre EU zástrčky. Následne bol s novou konštantou meraný kalibračný roztok ešte raz a výsledky ukázali 1,42 mS/cm, čo je pomerne dobrý výsledok. Kontrolné meranie bolo vykonané na minerálke Fatra, ktorej výrobcu udáva EC na 2,2 mS/cm. Namerané bolo 2,04 mS/cm, čo je tiež výsledok, ktorý je v tolerancii, nakoľko i rastlina vo svojom rozsahu EC nepocíti rozdiel v desatinách hodnoty.

3.8.3 Ohrev

Pri testovaní výhrevná doska dosiahla pri plnom výkone na vrchnom povrchu 139°C a pri tom sa poškodila izolácia. Preto bol znížený počet výhrevných teliesok z 11 na 10, vďaka čomu sú telieska ďalej od seba a taktiež je celkový výkon o 5 W menší, teda 50 W, tomu prevádzkový výkon bol obmedzený PWM reguláciou na max. polovicu. I pri polovičnom výkone povrch dosky dosahoval 64°C, čo je dostatočná teplota na ohrev a zároveň bezpečná prevádzková teplota pre okolitú izoláciu. Teplota substrátu sa pohybovala pri pretekajúcom roztoku na úrovni okolo 31°C a vrchné vrstvy na úrovni 25 až 26°C. Nakoľko sa roztok ale začal neprimerane časom zahrievať, bola znova znížená hodnota výkonu výhrevnej dosky na úroveň 40 % pôvodného plného výkonu a je spúšťaná len pri výraznejšom ochladení.

3.8.4 Vzduch a chladenie

Pri testovacej prevádzke sa teplota vzduchu pri plnom výkone ventilácie a pri maximálnom osvetlení pohybovala na úrovni 25°C stupňov a po dlhšej prevádzke mala teplota mierna stúpajúcu tendenciu. Pri spustenom chladení sa vzduch ochladzoval veľmi pomaly, pokles o dva stupne Celzia sa dosiahol až po dvoch hodinách intenzívneho chladenia. Z výstupu prietokového chladiča bol síce vytláčaný vzduch o teplote 19°C, nakoľko box nemá extra izoláciu a ostatné súčasti stále tvorili teplo bolo toto chladenie neefektívne. Celkovo sa ukázali Peltierove články ako neefektívny systém chladenia na veľké objemy.

3.8.5 Meranie objemu

Spôsob merania objemu pomocou ultrazvuku v malých nádobách sa ukázal ako veľmi presný a spoľahlivý systém. Odchýlka v meraní sa pohybuje v desiatkach mililitroch, čo je zanedbateľná hodnota. Jediná úprava bola programová, a to časové rozostupy minimálne 5 sekúnd medzi jednotlivými nádobami, nakoľko dochádzalo k vzájomnému rušeniu merania prenikajúcimi zvukovými vlnami z jednej nádoby do druhej, keďže nádoby sú blízko seba.

3.8.6 Rezervoáre

Použitie odpadné rúry ako nádoby sa osvedčil aj napriek tomu, že práve kvôli nádobám musel byť kvôli úniku systém niekoľko krát odstavený. HT trúbky majú tak silnú protichemickú odolnosť, že i lepidlo určené na spájanie potrubí a silikón mali problém utesniť drobné netesnosti. Systém dávkovania pomocou peristaltických púmp je spoľahlivý v presnosti dávkovania, ale ak klesne v rezervoároch hladina daného roztoku pod 200 ml, nie sú schopné už čerpať a dokompenzovať chýbajúci tlak kvapaliny v systéme.

3.8.7 Osvetlenie

LED panely pri teoretickom výpočte mali dosiahnuť pri priemernej vzdialenosti 35 cm s plochou osvetlenia 0,21 m² intenzitu pri plnom výkone 3904 luxov. Pri meraní luxmetrom BH1750 a i za pomoci mobilnej aplikácie bolo nameraná maximálna intenzita 3400 a v priemere 3000 – 3100 luxov, čo predstavuje 80 % vypočítanej intenzity. LED záves mal mať podľa podľa teoretického výpočtu z hodnôt udávaných výrobcom 19 100 luxov pri vzdialenosti 20 cm. Pri meraní bola nameraná maximálna hodnota v tejto vzdialenosti 13 500 luxov. Čo je približne 70 % z očakávaných hodnôt. V globále sa ale LED záves osvedčil veľmi dobre, nakoľko je intenzita závislá na vzdialenosti, riadenie jeho výšky prispieva k lepšiemu využitiu jeho výkonu. LED panely sú zo svojej povahy skôr doplnkové a dotvárajú efekt prirodzene rozptýleného svetla spolu s reflexnou fóliou. Dosiahnutie hodnoty 13 500 luxov je veľmi dobré, slnečný letný deň v tieni dosahuje v priemere 10 000 luxov.

LED záves po pripojení na kábel dĺžky 1,5 m začal vykazovať farebnú fragmentáciu a nesprávne vyhodnocovanie nahraných dát. Problém bol vyriešený radami od výrobcu, presunutím predradného odporu $1\text{ k}\Omega$ medzi prvou diódou a mikrokontrolérom čo najbližšie k dióde kruhu a dodaním paralelne zapojeného elektrolytického kondenzátora o hodnote $1000\text{ }\mu\text{F}$ na napájaciu vetvu LED závesu čo najbližšie ku vstupu napájania pre vyrovnanie úbytku napätia na vedení, zároveň bolo potreba prepojiť zem napájania závesu so zemou Arduina, čím sa vyrovná potenciál. Po tejto úprave sa záves správal opäť korektne.

3.8.8 Živný roztok

Hodnoty živného roztoku boli pri testovaní zo začiatku pomerne zastabilizované s odchýlkami max. v jednotkách desiatín, no postupom času sa ukázal problém úpravy hodnoty pH smerom nahor pomocou upravovača pH+, čím rástla i koncentrácia EC a roztok sa stával nestabilným. Preto pH+ nahradila destilovaná voda, ktorá má takmer nulové EC a pH 7 neutrálne a pri každej úprave pH smerom hore prichádza k riedeniu roztoku a možnosť lepšie kontrolovať EC.

4 ZÁVER

Tvorba systému ukázala ako je potreba myslieť pri návrhu i následnej realizácii na množstvo aspektov vyžadujúcich správny vývoj rastliny a ktoré zároveň ovplyvňujú chod systému, keďže sa niektoré časti vzájomne interferujú (napr.: odpadné teplo z osvetlenia a udržanie optimálnej teploty vzduchu).

Pri testovaní sa ukázalo, ktoré časti systému splnili očakávania a ktoré nie. Počas testovania sa prejavilo niekoľko technických chýb a zistení. Výhrevná doska bola účinná, no výskyt vysokých teplôt sústavne poškodzoval silikónovú izoláciu, čo bolo príčinou niekoľkonásobného odstavenia systému. Použitie HT rúr ako nádoba je skvelá voľba vďaka silnej chemickej odolnosti, ktorá ale zároveň zvyšuje náročnosť utesnenia dna nádoby, čo taktiež dvakrát viedlo k odstávke. Ventilácia pri práci na plný výkon stíhala, avšak extrémna predimenzovanosť je v takýchto systémoch len k úžitku.

Vlastná EC sonda, založená na obyčajnej elektrickej zástrčke sice nepatrí medzi špičkové riešenia, avšak svoj účel splnila nad očakávania. Pri pH sonde sa ukázalo ako problém jej životnosť (v rádoch mesiacov) v porovnaní s jej cenou. Osvetlenie bolo dostatočné, ale i tu ako u ventilácie, predimenzovanie je veľmi potrebné. Ultrazvukové meranie v tejto práci patrí medzi najúspešnejšie riešenie, dostatočne presné a stabilné. Taktiež dávkovanie pomocou peristaltických púmp bolo dostatočne presné a prispieva k stabilite roztoku.

Ako tristne nepostačujúce bolo chladenie peltierovými článkami, vysoká spotreba elektrickej energie a nízka chladiaca účinnosť spolu so vznikom značného množstva tepla sa ukázalo ako absolútne nevhodné riešenie. Do budúca je plánovaná výmena za chladiaci kompresor chladničky. K výmene priamo počas prác prišlo pri komunikačnom rozhraní, Wifi modul a to hneď na začiatku bol vymenený za Ethernet shield. Wifi modul ESP01 sa absolútne nesprával korektne a po neúspešnom rozbehnutí bola táto koncepcia zatiaľ zamietnutá. Naproti tomu Ethernet shield pracoval korektne a priniesol i výhodu v podobe integrovaného slotu pre SD kartu.

Samotný klon Arduina počas celej práce nevykazoval žiadne značné chyby alebo vybočenia, okrem zle čítanej hodnoty napätia sa nenašlo nič čo by potvrdzovalo tvrdenia odporcov klonov. Zaujímavosťou bolo práveže lepšia odolnosť na hrubé mechanické zaobchádzanie spojená zároveň s extrémne nízkou citlivosťou na elektrostatický náboj. Pri rovnakom zaobchádzaní sa podarilo originál „odpáliť“ už po pár použitíach.

V globále systém pracoval správne a dosiahli sa základné podmienky pre hydroponické pestovanie. V budúcnosti je ale v pláne niektoré časti systému na základe poznatkov vylepšiť.

LITERATÚRA

- [1] Gardendirect. *Hydropónia – História a Mýty časť 1*. [online]. Gíraltovcce, 25.8.2017 [cit.2018-03-13]. Dostupné z URL: <<https://gardendirect.sk/blog/sk/hydroponia-historia-a-myty-cast-12/>>.
- [2] Semena-marihuany. *Delenie základných prvkov*. In: Prvé kroky k hydropónii [online]. 25.7.2013 [cit.2018-03-13]. Dostupné z URL: <<https://www.semena-marihuany.cz/sk/blog/249-prve-kroky-k-hydroponii>>.
- [3] Semena-marihuany. *Typy hydroponických pestovateľských systémov*. In: Základné princípy hydroponického pestovania [online]. 7.2.2013 [cit.2018-03-13]. Dostupné z URL: <<https://www.semena-marihuany.cz/sk/blog/200-zakladne-principy-hydroponickeho-pestovania>>.
- [4] Biopedia. *Abiotické faktory prostredia*. [online]. [cit.2018-03-18]. Dostupné z URL: <<https://biopedia.sk/ekologia/abioticke-faktory-prostredia>>.
- [5] Wikipedia. *Fotosyntéza*. [online]. [cit.2018-03-19]. Dostupné z URL: <<https://sk.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>>.
- [6] Venso-ecosolutions. *PAR – Photosynthetic Active Radiation*. In: Växtljus - Om Lumen, Lux, PAR, PPF, PPFD och LED-Växtlampor [online]. Partille, Švédsko. [cit.2018-03-19]. Dostupné z URL: <<https://venso-ecosolutions.se/faq/vaxtljus>>.
- [7] Venso-ecosolutions. *Obrázok 1.1 Spektrum - človek a rastlina*. In: Växtljus - Om Lumen, Lux, PAR, PPF, PPFD och LED-Växtlampor [online]. Partille, Švédsko. [cit.2018-04-05]. Dostupné z URL: <<https://venso-ecosolutions.se/faq/vaxtljus>>.
- [8] HASPELOVÁ-HORVATOVIČOVÁ, Alžbeta. *Asimilačné farbivá v zdravej a chorej rastline*. Bratislava: Veda, 1981. 267s
- [9] Wikipedia. *Kyslosť*. [online]. [cit.2018-04-11]. Dostupné z URL: <<https://sk.wikipedia.org/wiki/Kyslos%C5%A5>>.
- [10] Canna CZ. *Vše o EC a pH v řadě AQUA*. [online]. [cit.2018-04-12]. Dostupné z URL: <http://www.canna-cz.com/vse_o_ec_ph_v_rade_aqua>.
- [11] Growth Technology. *Units of Measure*. In: Electrical Conductivity [online]. P [cit.2018-04-21]. Dostupné z URL: <<https://www.growthtechnology.com/growtorial/what-is-conductivity/>>.

- [12] Listové hnojivá. *Cheláty*. [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z URL: <<http://www.listovehnojiva.sk/chelaty.html>>.
- [13] Arduino. *Arduino Mega 2560 Rev3*. [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z URL: <<https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>>.
- [14] Arduino. *Arduino Due*. [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z URL: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-due>>.
- [15] Raspberrypi. *Raspberry Pi 3B+ Specs and Benchmarks*. [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z URL: <<https://www.raspberrypi.org/magpi/raspberry-pi-specs-benchmarks/>>.
- [16] FtdiChip. *FT232R - USB UART IC*. [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z URL: <<http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT232R.htm>>.
- [17] Microchip. *ATmega16U2*. [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z URL: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega16u2>>
- [18] Cdn.sparkfun. *USB to serial chip CH340*. [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z URL: <<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Other/CH340DS1.PDF>>
- [19] MALÝ, Martin. *Ovladače pro CH340G*. [online]. 14.10.2016 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z URL: <<https://www.misanthrop.info/ovladace-pro-ch340g/>>
- [20] IOT.ORG.NZ. *obrázok*. [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <<http://iot.org.nz/index.php/arduino-activities/>>
- [21] Kiwiki. *Blok UART*. [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <http://www.kiwiki.info/index.php/Blok_UART>
- [22] Kiwiki. *Synchrónna komunikácia I2C*. [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <http://www.kiwiki.info/index.php/Synchr%C3%B3nna_komunik%C3%A1cia_I2C>
- [23] Kiwiki. *Synchrónna komunikácia SPI*. [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <http://www.kiwiki.info/index.php/Synchr%C3%B3nna_komunik%C3%A1cia_SPI>
- [24] Kiwiki. *Protokol 1-Wire*. [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <http://www.kiwiki.info/index.php/Protokol_1-Wire>

- [25] Kiwiki. *Meranie teploty pomocou teplomera DS18S20*. [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <http://www.kiwiki.info/index.php/Meranie_teploty_pomocou_tplomera_DS18S20>
- [26] DVOŘÁČEK, Vladimír *Světelné zdroje – vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky*. In: Světlo – časopis pro světlo a osvětlování. [online]. 2008. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-vysokotlake-rtutove-vybojky-smesove-vybojky--15927>>
- [27] DVOŘÁČEK, Vladimír *Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky*. In: Světlo – časopis pro světlo a osvětlování. [online]. 2009. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-vysokotlake-sodikove-vybojky--15603>>
- [28] DVOŘÁČEK, Vladimír *Světelné zdroje – halogenidové výbojky část 1*. In: Světlo – časopis pro světlo a osvětlování. [online]. 2009. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-halogenidove-vybojky-cast-1--15578>>
- [29] DVOŘÁČEK, Vladimír *Světelné zdroje – kompaktní zářivky*. In: Světlo – časopis pro světlo a osvětlování. [online]. 2008. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-kompaktni-zarivky--15831>>
- [30] DVOŘÁČEK, Vladimír *Světelné zdroje – Světelné diody*. In: Světlo – časopis pro světlo a osvětlování. [online]. 2011. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-svetelne-diody--15243>>
- [31] Sparkfun. *Wiznet 5100 Datasheet*. [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf>
- [32] Coeleveld. *obrázok*. In: Arduino + Stepper (ULN2003A) [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z URL: <<https://coeleveld.com/arduino-stepper-uln2003a/>>
- [33] Seeedstudio. *WS2812B datasheet*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z URL: <<http://www.seeedstudio.com/document/pdf/WS2812B%20Datasheet.pdf>>

- [34] RATCLIFFE, Michael. *Three Dollar EC - PPM Meter [Arduino]*. [online]. 9.4.2015 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z URL: <<https://hackaday.io/project/7008-fly-wars-a-hackers-solution-to-world-hunger/log/24646-three-dollar-ec-ppm-meter-arduino>>
- [35] PeltierModules. *Thermoelectric Cooler TEC -12705*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z URL: <<http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12705.pdf>>
- [36] Wikipedia. *Peltierov článok*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z URL: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Peltierov_%C4%8D1%C3%A1nok>
- [37] TME. *Telpod – thick film heating element GBR – 618 Series*. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z URL: <https://www.tme.eu/sk/Document/b0bfbe8ece5f0787e976fee201603ab9/GBR-618_EN.pdf>

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

AC	striedavý prúd – Alternating Current
ATX	Advanced Technology Extended
BNC	Bayonet Neill Concelman connector
CF	faktor vodivosti – Conductivity Factor
CFL	kompaktné fluorescenčné žiarivky – Compact Fluorescent Lamp
CRC	kontrola cyklickým kódom – Cyclic Redundancy Check
DC	jednosmerný prúd – Direct Current
DTD	drevotriesková doska
EC	elektrická vodivosť – Electric Conductivity
FTDI	názov spoločnosti – Future Technology Devices International
HT	vysoká teplota – High Temperature
HPS	vysokotlaková sodíková výbojka – High Pressure Sodium
HTTP	hypertextový prenosový protokol – HyperText Transfer Protocol
IDE	vývojové prostredie – Integrated Development Environment
I/O	vstupno-výstupný – Input/Output
IP	Internet Protocol
LED	svetlo emitujúca dióda – Light-Emitting Diode
LSB	Least Significant Bit
MH	metal halogenidová výbojka – Metal Halogenid
MSB	Most Significant Bit
MVL	ortuťová výbojka – Mercury Vapour Lamp
PAR	fotosynteticky aktívne žiarenia – Photosynthetically Active Radiation
pH	kyslosť, acidita
PVC	polyvinylchlorid
PWM	pulzná šírková modulácia – Pulse Width Modulation
RTC	hodiny reálneho času – Real Time Clock
RX	prijat – Receive
SBC	jedno doskový počítač – Single Board Computer
SD	Secure Digital
SPI	sériové periférne rozhranie – Serial Peripheral Interface
TDS	celkovo rozpustené soli – Total Dissolved Salts
TX	odoslať – Transmit
UART	univerzálny asynchrónny prijímač / vysielač – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	univerzálna sériová zbernica – Universal Serial Bus
I ² C	meno štandardu sériovej zbernice – Inter-Integrated Circuit

lm	lúmen
lm/W	lúmen na watt
mcd	milikandela
lx	lux
W	watt
m^2	meter štvorcový
m^3/h	meter kubický za hodinu
mS	miliSiemens
mS/cm	miliSiemens na centimeter
$Mbit/s$	megabit za sekundu
pF	pikoFarad
Ω	ohm

ZOZNAM PRÍLOH

A	Tabuľky	81
A.1	Výkonová tabuľka	81
A.2	Rastová tabuľka	81
B	Kalibračný program EC sondy	82
C	Foto dokumentácia	84
D	Obsah priloženého CD	88

A TABULKY

A.1 Výkonová tabuľka

Menný zoznam použitých elektrických a elektronických častí systému					
Počet	Typ	Napäťová úroveň [V]	Max. spotreba prúdu [A]	Max. príkon jedného prvku [W]	Max. príkon spolu [W]
5	HC-SR05	5	0,04	0,20	1,00
1	EC sonda	5	0,01	0,05	0,05
1	PH sonda/modul	5	0,01	0,05	0,05
1	Radič krokovéh motora	5	0,32/cievka	1,60	6,40
1	Led záves	5	8,40	42,00	42,00
12	IRF520	5	0,02	0,10	1,20
1	8 kanálový relé modul	5	0,072/kanál	0,36	2,88
1	Ethernet shield	5	0,18	0,90	0,90
3	DHT 22	5	0,0025	0,01	0,04
1	RTC	5	0,005	0,03	0,03
4	DS18B20	5	0,0015	0,01	0,03
4	Peristaltická pumpa	12	0,17	2,00	8,00
3	Obehové čerpadielko	12	1,76	21,12	63,36
1	Led panely spolu	12	2,73	32,80	32,80
2	Vent. 8412NH	12	0,18	2,20	4,40
3	Obehový ventilátor	12	0,13	1,56	4,68
3	Pelt. článok TEC 12705	12	5,00	60,00	180,00
5	Ventilatory chladenia	12	0,13	1,56	7,80
1	Arduino Mega2560	12	0,20	2,40	2,40
1	Výhrevná doska	12	4,20	50,00	50,00
Spolu:					408,01

Obr. A.1: Výkonová tabuľka.

A.2 Rastová tabuľka

Tabuľka hodnôt pre rast							
Odroda: Explosive ember Capsicum annum							
Týždeň	1 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 11	11 - 14	14 - 16
Vývojové štádium	Klíčenie	Sadenice	Rast bez kvetov	Nasádzanie kvetov	Rastlina v kvete	Prvé mladé plody	Dozrievanie plodu
teplota [°C]	26-28 (27)	18- 24 (21)	18- 24 (21)	18- 24 (21)	18- 24 (21)	20-26 (23)	20- 26 (23)
EC [mS]	0,5 - 0,9 (0,7)	1,0 - 1,3 (1,15)	1,5 - 2,2 (1,85)	1,8 - 2,6 (2,2)	2,2 - 2,8 (2,5)	2,3 - 2,9 (2,6)	2,4 - 3,0 (2,7)
pH	stály ideálny rozptyl 5,8 - 6,5 (jemne kyslé prostredie) (6,15)						
farba svetla	modrá			červená			
pomer hnojív A/B [%]	50/50			40/60			
pomer deň/noc [hod]	18/6	15/9	13,5/10,5				
vlhkosť vzduchu [%]	80	65 - 75 (70)		50 - 70 (60)			

Obr. A.2: Rastová tabuľka.

B KALIBRAČNÝ PROGRAM EC SONDY

Výpis B.1: Kód programu pre základnú kalibráciu EC sondy časť 1.

```
#include <OneWire.h>

int R1= 1000;
int Ra=25;
int ECPin= A0;
int ECGround=A1;
int ECPower =A4;
float CalibrationEC=1.413;
float TemperatureCoef = 0.019;
int DS18S20_Pin = 3;

OneWire ds(DS18S20_Pin);

float TemperatureFinish=0;
float TemperatureStart=0;
float EC=0;
int ppm =0;

float raw= 0;
float Vin= 5;
float Vdrop= 0;
float Rc= 0;
float K=2.62;

int i=0;
float buffer=0;

void setup(){

  Serial.begin(9600);
  pinMode(ECPin,INPUT);
  pinMode(ECPower,OUTPUT);
  pinMode(ECGround,OUTPUT);
  digitalWrite(ECGround,LOW);
  R1=(R1+Ra);

};
```

Výpis B.2: Kód programu pre základnú kalibráciu EC sondy časť 2.

```

void loop(){
1
2
float temperature = getTemp();
3
Serial.println(temperature);
4
i=1;
5
buffer=0;
6
TemperatureStart=temperature;
7
8
while(i<=10){
9
digitalWrite(ECPower,HIGH);
10
raw= analogRead(ECPin);
11
raw= analogRead(ECPin);
12
// This is not a mistake, first reading will be low
13
digitalWrite(ECPower,LOW);
14
buffer=buffer+raw;
15
i++;
16
delay(5000);
17
};
18
19
raw=(buffer/10);
20
TemperatureFinish=temperature;
21
EC =CalibrationEC*
22
(1+(TemperatureCoef*(TemperatureFinish-25.0)));
23
24
Vdrop= (((Vin)*(raw))/1024.0);
25
Rc=(Vdrop*R1)/(Vin-Vdrop);
26
Rc=Rc-Ra;
27
K= 1000/(Rc*EC);
28
29
Serial.print("Cell_Constant_K");
30
Serial.print(K);
31
32
if (TemperatureStart==TemperatureFinish){
33
Serial.println("OK, use the K konstant in Main Code");
34
}
35
else{Serial.println("Error");}
36
37
}
38

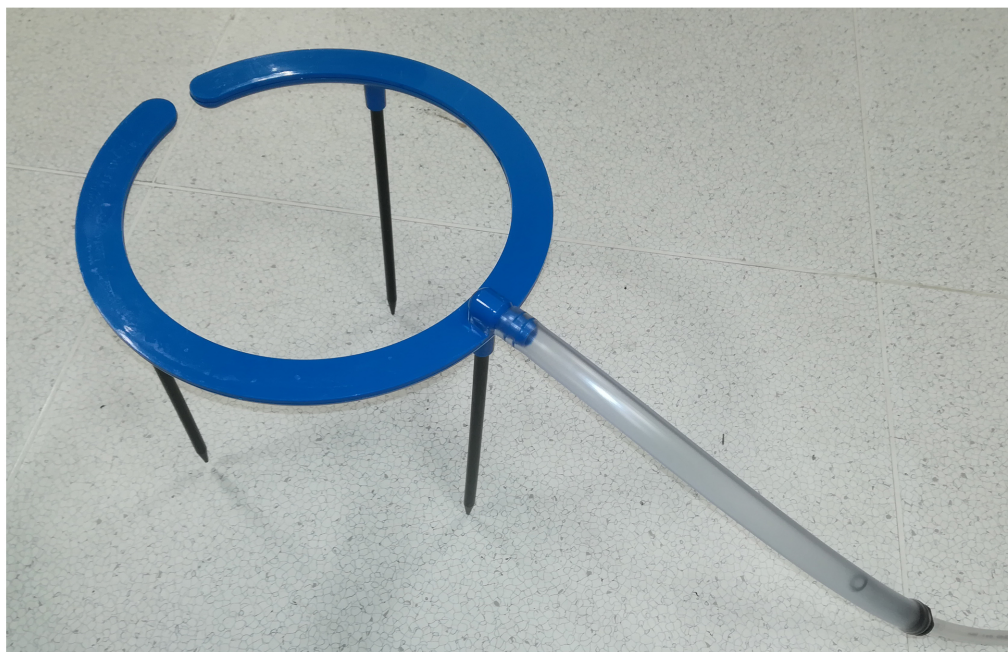
```


C FOTO DOKUMENTÁCIA

Niekoľko fotografií z tvorby systému.



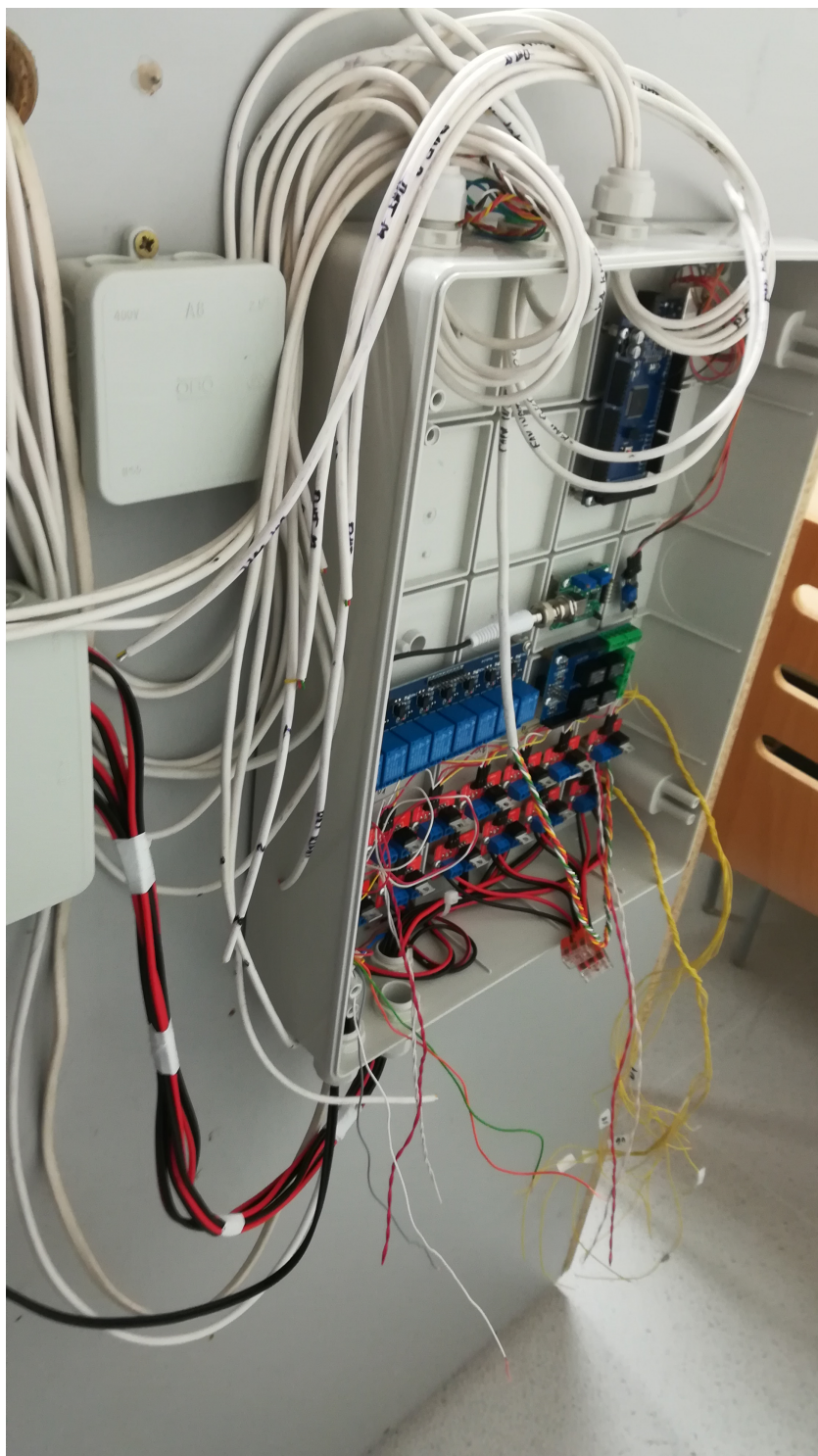
Obr. C.1: Vrchná vnútorná časť boxu (hore), systém rezervoárov a dávkovania (dole).



Obr. C.2: Plavák s pH sondou (hore), zavlažovací kruh (dole).



Obr. C.3: Kameninové lôžko (dole), celkový pohľad na pestovateľskú nádobu (hore).



Obr. C.4: Pohľad na prípravu riadiacej skrine (arduino, IRF520, relé modul, pH modul)

D OBSAH PRILOŽENÉHO CD

V priloženom médiu je možné nájsť elektronickú verziu bakalárskej práce vo formáte pdf. V zložke obrázky sú umiestnené obrázky a prílohy, použité v práci, v ich pôvodnom rozlíšení. V zložke testovacie kódy sú súbory zdrojových kódov pre Arduino určené pre testovanie funkcií.

BC_praca.....	kořenový adresář přiloženého CD
├─xborsu00.....	Elektronická verzia bakalárskej práce vo formáte PDF
├─loga	loga školy a fakulty
├─obrazky	zdrojové obrázky
├─pdf	pdf stránky generované informačním systémem
│ ├─desky.pdf	
│ ├─titulnylist.pdf	
│ └─zadanie.pdf	
├─text	zdrojové textové soubory
│ ├─literatura.tex	
│ ├─prilohy.tex	
│ ├─reseni.tex	
│ ├─uvod.tex	
│ ├─vysledky.tex	
│ ├─zaver.tex	
│ └─zkratky.tex	
├─sablon.tex.....	hlavný súbtor pre sadzbu práce
├─thesis.sty	balíček pre sadzbu prací
└─testovacie_kody	súbtor z testovacími kódmi pre Arduino